

BUNDE REPUBLIK DEUTSCHLAND



REC'D 26 AUG 2003
WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 57 641.6

Anmeldetag: 10. Dezember 2002

Anmelder/Inhaber: Robert Bosch GmbH, Stuttgart/DE

Bezeichnung: Kraftstoffinjektor mit und ohne Druckverstärkung mit steuerbarer Nadelgeschwindigkeit und Verfahren zu dessen Steuerung

Priorität: 29.7.2002 DE 102 34 447.7

IPC: F 02 M 47/02

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 30. Juli 2003
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident
Im Auftrag

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

R.302844-1

10. Dezember 2002

5 Robert Bosch GmbH

Kraftstoffinjektor mit und ohne Druckverstärkung mit steuerbarer Nadelgeschwindigkeit und Verfahren zu dessen Steuerung

10

Technisches Gebiet

Mit Kraftstoffinjektoren an Verbrennungskraftmaschinen erfolgt eine hubgesteuerte oder eine druckgesteuerte Einspritzung von unter hohem Druck stehenden Kraftstoff in den Brennraum einer Verbrennungskraftmaschine. Um heutigen und zukünftigen Abgasgesetzgebungen für Verbrennungskraftmaschinen zu entsprechen, sind Mehrfacheinspritzungen (Vor-, Haupt- und Nacheinspritzungen) erforderlich. Der zeitliche Abstand zwischen den Einzeleinspritzungen sollte dabei so kurz wie möglich sein, bei 20 gleichzeitig geringstmöglicher Beeinflussung der jeweils nachfolgenden Einspritzung. Eine der Haupteinspritzphase vorgeschaltete Pilot-Einspritzung zur Konditionierung des Brennraumes sollte eine dieser nachgeschaltete Haupteinspritzphase hinsichtlich des emissionsrelevanten Druckanstieges nicht beeinflussen.

25

Stand der Technik

DE 196 50 865 A1 hat ein Magnetventil zur Steuerung des Kraftstoffdruckes im Steuerdruckraum eines Einspritzventilgliedes, etwa bei Common-Rail-Einspritzsystemen, zum Gegenstand. Über den Kraftstoffdruck im Steuerdruckraum wird die Bewegung eines Ventilkolbens gesteuert, mit dem die Einspritzöffnungen des Einspritzventils geöffnet oder verschlossen werden. Das Magnetventil weist einen in einem Gehäuseteil angeordneten Elektromagneten, einen beweglichen Anker und ein mit dem Anker bewegtes, von einer Schließfeder in Schließrichtung beaufschlagtes Steuerventilglied auf, das mit einem 30 Ventilsitz des Magnetventils zusammenwirkt und so den Kraftstoffabfluss aus dem Steuerdruckraum steuert. Auch aus DE 197 08 104 A1 ist ein solches Magnetventil zur 35 Steuerung des Kraftstoffdruckes im Steuerdruckraum eines Einspritzventils bekannt.

Zur Vermeidung der nachteiligen Folgen des per Magnetventilen nach deren Ansteuerung auftretenden Ankerprellens sind die Anker der Magnetventile gemäß DE 196 50 865 A1 und DE 197 08 104 A1 als zweiteilige Anker ausgebildet. Die Anker umfassen einen Ankerbolzen und eine auf dem Ankerbolzen gleitverschiebbar aufgenommene Ankerplatte.

5 Durch den Einsatz zweiteiliger Anker wird deren effektiv abgebremste Masse und damit die das Ankerprellen verursachende kinetische Energie des auf den Ventilsitz auftreffenden Ankers vermindert. Ein Ansteuern des Magnetventils führt erst dann wieder zu einer definierten Einspritzmenge, wenn die Ankerplatte nicht mehr nachschwingt. Daher sind Maßnahmen erforderlich, um das Nachschwingen der Ankerplatte zu reduzieren. Dies ist

10 insbesondere dann erforderlich, wenn kurze zeitliche Abstände zwischen einer Vor- und einer Haupteinspritzphase erforderlich sind. Zur Lösung dieses Problems kommen Dämpfungseinrichtungen zum Einsatz, welche einen ortsfesten Teil und einen mit der Ankerplatte bewegten Teil umfassen. Der ortsfeste Teil kann durch einen Überhubanschlag gebildet sein, welcher die maximale Weglänge begrenzt, um die sich die Ankerplatte auf dem Ankerbolzen verschieben kann. Der bewegliche Teil wird durch einen dem ortsfesten Teil zugewandten Vorsprung an einer Ankerplatte gebildet. Der Überhubanschlag kann durch die Stirnseite eines den Ankerbolzen führenden, in dem Gehäuse des Magnetventils ortsfest eingespanntes Gleitstück oder durch ein dem Gleitstück vorgelagertes Teil wie beispielsweise einer Ringscheibe gebildet sein. Bei einer Annäherung der Ankerplatte an den Überhubanschlag entsteht zwischen den einander zugewandten Stirnseite der Ankerplatte und des Überhubanschlages ein hydraulischer Dämpfungsraum. Der in dem Dämpfungsraum enthaltene Kraftstoff erzeugt eine Kraft, die der Bewegung der Ankerplatte entgegenwirkt, so dass das Nachschwingen der Ankerplatte stark gedämpft werden kann.

25 Nachteilig bei den Magnetventilen gemäß DE 196 50 865 A1 und DE 197 08 104 A1 ist die genaue Einstellung des maximalen Gleitweges, welcher der Ankerplatte am Ankerbolzen zur Verfügung steht. Der maximale Gleitweg, auch Überhub genannt, wird durch Austauschen der Überhubscheibe, zusätzliche Distanzscheiben oder Abschleifen des

30 Überhubanschlages eingestellt. Diese Lösungen sind, da sie eine schrittweise durchzuführende iterative Einstellung erfordern, aufwendig und nur schwer zu automatisieren und verlängern daher die in der Fertigung solcher Magnetventile erforderlichen Taktzeiten.

35 Heute eingesetzte hubgesteuerte Kraftstoffinjektoren für Hochdruckeinspritzanlagen mit einem Hochdruckspeicherraum umfassen je eine Drossel und einen Steller, der als Magnetspule bzw. als Piezoaktor ausgestaltet sein kann. Mit diesen Komponenten können jedoch nur sehr geringe Öffnungs- bzw. Schließgeschwindigkeiten eines Einspritzventilgliedes erreicht werden, welches als Düsennadel ausgebildet sein kann. Bei

Mehrfacheinspritzungen ist es daher nicht möglich, durch unterschiedliche Nadelöffnungsgeschwindigkeiten den hinsichtlich der Emissionen ausschlaggebenden Druckanstieg derart zu beeinflussen, dass eine Pilot-Einspritzung (PI) sehr nahe der Haupteinspritzphase liegt, ohne dass die nachfolgenden Einspritzungen funktionskritisch beeinflusst werden.

Darstellung der Erfindung

10 Nach der erfindungsgemäßen Lösung ist eine Druckentlastung eines im Kraftstoffinjektor zur Betätigung des Einspritzventilgliedes vorgesehenen Steuerraumes über zwei Ablaufdrosseln möglich. Die beiden, die Druckentlastung des das Einspritzventilglied betätigenden Steuerraumes bewirkenden Ablaufdrosseln können gemäß der erfindungsgemäßen Lösung einzeln oder gemeinsam angesteuert werden.

Dazu können in einer ersten Ausführungsvariante der erfindungsgemäßen Lösung dem Ventilkörper zwei Steller zugeordnet werden, die als Stellglieder fungieren. Mit einem der 20 als Stellglieder eingesetzten Magnetventile kann eine sehr kleine Ablaufdrossel für eine Pilot-Einspritzung von Kraftstoff in den Brennraum einer selbstzündenden Verbrennungskraftmaschine geöffnet werden. Durch die sich über die sehr klein dimensionierte Ablaufdrossel einstellende Abströmmenge aus dem Einspritzsystem, den Hochdruckspeicherraum (Common Rail), die Zuleitung und den Kraftstoffinjektor umfassend, können die entstehenden Druckschwingungen sehr gering gehalten werden. Je 25 kleiner diese Druckschwingungen gehalten werden können, desto geringer bleibt der Einfluss der Druckschwingungen auf die zeitlich der Pilot-Einspritzung eventuell erfolgende zweite Piloteinspritzung bzw. auf die Haupteinspritzphase. Dies hat zur Folge, dass Folgeeinspritzungen wesentlich zyklusstabil in Bezug auf den Druckanstieg und die Einhaltung kleinster Einspritzmengen in den Brennraum, d.h. die Kleinstmengenfähigkeit des erfindungsgemäßen Kraftstoffinjektors erheblich verbessert wird.

30 Je nach Abstimmung der ersten Ablaufdrossel und einer weiteren, zweiten Ablaufdrossel kann das als Magnetventil ausgebildete zweite Stellglied nur für die Haupteinspritzung oder aber auch zusammen mit dem die Pilot-Einspritzung bewirkenden, die erste sehr klein dimensionierte Ablaufdrossel ansteuernden Stellglied betätigt werden. Bei Ansteuerung 35 beider Stellglieder kann eine Druckentlastung des Steuerraumes von Steuerraumvolumen sehr schnell erfolgen. Dies bedeutet, dass die vertikale Hubbewegung des Einspritzventilgliedes aufgrund der Druckentlastung des Steuerraumes mit einer relativ hohen Geschwindigkeit erfolgt. Ein schnelles Öffnen des beispielsweise als Düsennadel ausgebildeten Einspritzventilgliedes hat zur Folge, dass bei Haupteinspritzphasen die

Strahlaufbereitungs-energie keine Drosselung am Düsennadelsitz aufgrund eines zu langsamens Öffnens erfährt, sondern an der Einspritzöffnung anliegt. Dies bedeutet, dass der durch die Einspritzöffnungen in den Brennraum der Verbrennungskraftmaschine eingespritzte Kraftstoff einerseits aufgrund der nicht vorhandenen Drosselung an der Einspritzöffnung mit sehr hohem Druck eintritt, und andererseits die Verbrennung begünstigend sehr fein zerstäubt werden kann.

In einer weiteren Ausführungsvariante der erfindungsgemäß vorgeschlagenen Lösung kann anstelle zweier getrennt in den Ventilkörper eingebauter und separat anzusteuernder Stellglieder in Gestalt zweier Magnetventile ein doppelschaltendes Magnetventil eingesetzt werden. Am als Stellglied eingesetzten doppelschaltenden Magnetventil können aufgrund unterschiedlicher Bestromungsstärken des doppelschaltenden Magnetventils verschiedene Ablaufdrosselkombinationen geschaltet werden, um zwei unterschiedliche Geschwindigkeitsniveaus für die Öffnungsbewegung des bevorzugt als Düsennadel ausgebildeten Einspritzventilgliedes zu realisieren. Auch gemäß dieser Ausführungsvariante ist der ein Einspritzventilglied betätigende Steuerraum innerhalb eines Ventilkörpers des Kraftstoffinjektors mit zwei Ablaufdrosseln versehen. Wird das doppelschaltende Magnetventil mit einem ersten, niedriger gelegenen Stromniveau angesteuert, so erfolgt die Freigabe eines Schließelements, welche ein Ablaufdrossellelement verschließt, und eine Absteuerung von Steuervolumen durch diese Ablaufdrossel. Wird hingegen ein zweites Bestromungsniveau, welches verglichen mit dem ersten Bestromungsniveau höher liegt, eingestellt, werden über das doppelschaltende Magnetventil beide Ablaufdrosseln geöffnet.

Bei Ansteuerung des doppelschaltenden Magnetventils mit einem ersten Bestromungsniveau kann eine kleine Voreinspritzmenge genau und stabil zugemessen werden. Wird das doppelschaltende Magnetventil hingegen mit einem zweiten Bestromungsniveau beaufschlagt, kann eine schnelle Druckentlastung des Steuerraumes erfolgen, so dass sich eine hohe Nadelöffnungsgeschwindigkeit für die Haupteinspritzung mit den oben skizzierten, damit verbundenen Vorteilen einstellt.

In vorteilhaften weiteren Ausgestaltungen der Erfindung ist zusätzlich ein Druckverstärker vorgesehen, der den Kraftstoffdruck über den in dem Hochdruckspeicherraum herrschenden Druck anhebt. Hierdurch ergeben sich vielfältige weitere Steuerungsmöglichkeiten für den Kraftstoffinjektor. So wird die Möglichkeit geboten, unterschiedliche Geschwindigkeiten der Düsennadel mit einer schaltbaren Druckerhöhung während des Betriebs zu realisieren. Diese große Variabilität der Ansteuerung des Kraftstoffinjektors bietet insbesondere den Vorteil, den Bewegungsablauf der Düsennadel und die Steuerung des Einspritzdrucks so zu beeinflussen, dass eine

Formung des Verlaufs der Einspritzung durch das Ansteuerkonzept realisiert werden kann. Im Vergleich zu Kraftstoffinjektoren herkömmlicher Bauart können mittels des erfindungsgemäß ausgestalteten Kraftstoffinjektors deutlich mehr Freiheitsgrade hinsichtlich der Flexibilität des Einspritzverlaufs und des Einspritzdrucks dargestellt werden. Zusätzlich kann eine sehr hohe Geschwindigkeit der Düsenadel bei der Öffnungsbewegung erreicht werden.

Diese Ausführungsvarianten der Erfindung bieten demzufolge die Möglichkeit zu einer noch stärkeren Variation der Geschwindigkeit der Düsenadel des Kraftstoffinjektors und zur Erzeugung eines sehr hohen Einspritzdrucks, der das Druckniveau eines Druckspeichers noch übersteigt. Die hohe Geschwindigkeit der Düsenadel bewirkt eine Verringerung der Drosselung im Düsensitz. Beide Effekte führen zu einer sehr feinen und gleichmäßigen Zerstäubung des Kraftstoffs während des Einspritzvorgangs und damit zu einer weiteren Verringerung der Emission schädlicher Abgase. Durch entsprechende Steuerung der Magnetsteller ist es weiterhin auf einfache Weise möglich, den Verlauf des Einspritzvorgangs optimal an den Bedarf der Verbrennungskraftmaschine anzupassen.

Zeichnung

20 Anhand der Zeichnung wird die Erfindung nachstehend näher erläutert.

Es zeigt:

25 Figur 1 eine erste Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Kraftstoffinjektors im Längsschnitt,

Figur 2 die Ausführungsvariante eines Kraftstoffinjektors gemäß Figur 1, jedoch im Vergleich zur Figur 1 in einer um 90° gedrehten Lage,

30 Figur 3 den Längsschnitt durch einen erfindungsgemäß konfigurierten Kraftstoffinjektor gemäß Figur 1 in einer leicht gedrehten Lage, in die Ebene, in der die Düsenraumzulaufbohrung liegt,

35 Figur 4 den Ventilkörper des erfindungsgemäßen Kraftstoffinjektors gemäß der ersten Ausführungsvariante in vergrößerter Darstellung,

Figur 4a eine vergrößerte Darstellung einer Ankerbolzenführung, die in den Ventilkörper 2 eingelassen ist,

Figur 5 eine weitere Ausführungsvariante des erfindungsgemäß vorgeschlagenen Kraftstoffinjektors mit einem doppelschaltenden Magnetventil,

5 Figur 6.1 einen ersten Bestromungsverlauf zur Durchführung einer Piloteinspritzung und langsam angesteuerter Düsenneedle und einen zweiten Bestromungsverlauf einer Haupteinspritzung mit einer angesteuerten Düsenneedle,

10 Figur 6.2 die sich gemäß der Bestromungsverläufe in Figur 6.1 einstellenden Ventilhübe, aufgetragen über die Zeitachse,

Figur 6.3 einen ersten Bestromungsverlauf für eine Piloteinspritzung und langsam bewegter Düsenneedle und einen zweiten Bestromungsverlauf für eine angelagerte Piloteinspritzung und langsamer Düsenneedlegeschwindigkeit sowie eine Haupteinspritzung mit schnell angesteuerter Düsenneedle,

Figur 6.4 die sich bei der Bestromung gemäß Figur 6.3 einstellenden Ventilhübe.

Figur 7 eine weitere Ausführungsvariante des erfindungsgemäß vorgeschlagenen Kraftstoffinjektors mit einem Druckverstärker und zwei 2/2-Ventilen als Stellglieder

20 Figur 8 eine weitere Ausführungsvariante des erfindungsgemäß vorgeschlagenen Kraftstoffinjektors mit einem Druckverstärker und einem 3/3-Ventil als Stellglied

25 Figur 9 in einem Diagramm die Darstellung des Düsenneedlehubs als Funktion der Zeit

Figur 10 in einem weiteren Diagramm die Einspritzung als Funktion der Zeit.

30 Ausführungsvarianten

Figur 1 ist eine erste Ausführungsvariante eines erfindungsgemäß konfigurierten Kraftstoffinjektors im Längsschnitt zu entnehmen.

35 Figur 1 zeigt einen Kraftstoffinjektor 1, der einen Ventilkörper 2 umfasst, an welchem mittels einer Überwurfmutter 4 ein Haltekörper 5 befestigt ist. Der Haltekörper 5 umfasst eine Zentralbohrung 6, die eine sich in den Ventilkörper 2 und durch den Haltekörper 5 erstreckende Druckstange 7 aufnimmt. Am unteren Ende des über die Überwurfmutter 4 auswechselbar am Ventilkörper 2 befestigten Haltekörpers 5 ist eine Düsenspannmutter 8

aufgenommen, welche ihrerseits einen Düsenkörper 9 aufnimmt. Über die Düsenspannmutter 9 sind das untere Ende des Haltekörpers 5 und der Düsenkörper 9 gegeneinander verschraubt. Im Übergangsbereich zwischen dem unteren Ende des Haltekörpers 5 und dem oberen Bereich des Düsenkörpers 9 ist eine Schließfeder 10 aufgenommen, welche das untere Ende der Druckstange 7 umschließt und auf ein im Düsenkörper 9 angeordnetes, in vertikale Richtung bewegbares Einspritzventilglied 11 wirkt. Das Einspritzventilglied 11 wird bevorzugt als Düsenadel ausgebildet und ist im Bereich einer Druckstufe von einem Düsenraum 12 umgeben.

10 Im unteren Bereich des Ventilkörpers 2, dem oberen Bereich des Haltekörpers 5 gegenüberliegend, erstrecken sich Leckagebohrungen 13 durch den Ventilkörper 2 und den Haltekörper 5. Die Leckagebohrungen 13 dienen als Leckölablauf über eine in Figur 4a näher dargestellte, in den Ventilkörper 2 integrierte Ankerbolzenführung 46.

Im oberen Bereich des Ventilkörpers 2 weist dieser einen Zulaufanschluss 3 auf. Seitlich in der Darstellung gemäß Figur 1 sind in entsprechende Bohrungen innerhalb des Ventilkörpers 2 ein erstes Stellglied 15 sowie ein zweites Stellglied 16 eingeschraubt. Gemäß der in Figur 1 dargestellten ersten Ausführungsvariante der erfindungsgemäßen Lösung sind zwei separate Stellglieder 15 bzw. 16 vorgesehen, die bevorzugt als Magnetventile ausgebildet werden. Das erste Stellglied 15 wirkt auf eine erste Ablaufdrossel 17 (vgl. Figur 4), während das zweite Stellglied 16 auf ein diesem gegenüberliegendes weiteres Ansteuerdrossel-Element wirkt. Die beiden, Figur 4 entnehmbaren Ablaufdrosseln 17 bzw. 18 werden über einen beispielsweise kugelförmig oder kegelförmig konfigurierten Schließkörper (vgl. Darstellung in Figur 4) verschlossen bzw. geöffnet. Im Ventilkörper 2 ist darüber hinaus ein Steuerraum 19 angeordnet, der einerseits vom Ventilkörper 2 und andererseits von der oberen Stirnfläche der Druckstange 7 begrenzt wird. Das erste Stellglied 15 und das zweite Stellglied 16 sind baugleich. Das erste Stellglied 15 umfasst einen Magnetkern 21, der seinerseits von einer zylindrisch konfigurierten Magnethülse 22 umgeben ist. Über die in den Magnetkern 21 eingelassene Magnetspule wird ein Magnetanker betätigt (vgl. Darstellung in Figur 4). Der Magnetanker ist über eine Druckfeder beaufschlagt, die sich durch den Magnetkern 21 erstreckt und teilweise von einem tellerförmigen Bereich eines Ablaufstutzens 27 umgeben ist. Das zweite Stellglied 16 ist in analoger Weise aufgebaut.

35 Figur 2 zeigt die erste Ausführungsvariante des erfindungsgemäß konfigurierten Kraftstoffinjektors in einer im Vergleich zu Figur 1 um 90° gedrehten Lage.

Figur 2 ist entnehmbar, dass der Ventilkörper 2, der im oberen Bereich einen Zentralbohrungsanschluss 3 aufweist, neben den Figur 1 entnehmbaren ersten und zweiten

Stellgliedern 15 bzw. 16 einen Druckanschlussstutzen 31 aufweist. Dieser Druckanschlussstutzen 31, in den Ventilkörper 2 eingeschraubt, umfasst eine Zulaufdrossel 32, über welche der Steuerraum 19 (vgl. Figur 1a) mit Steuervolumen, d.h. unter hohem Druck stehenden Kraftstoff, beaufschlagt wird. Der dem Druckanschlussstutzen 31 gegenüberliegend angeordnete Druckstutzen kann als Druckmessanschluss 34 zur Messung des im Steuerraum 19 herrschenden Druckniveaus eingesetzt werden. Am unteren Ende des Ventilkörpers 2 ist die Überwurfmutter 4 zu erkennen, mit welcher der Haltekörper 5 mit dem Ventilkörper 2 verbunden wird. Aufgrund der Schraubverbindung mittels der Überwurfmutter 4 zwischen Ventilkörper 2 und Haltekörper 5 kann der erfindungsgemäße Kraftstoffinjektor in unterschiedlichen Baulängen ausgebildet werden. Dies erlaubt in vorteilhafter Weise, die Geometrie des Ventilkörpers 2 unverändert zu lassen und die Baulänge lediglich über die Bauhöhe, d.h. die Axialerstreckung des Haltekörpers 5 anzupassen.

Am unteren Ende des Haltekörpers 5 ist mittels einer Düsenspannmutter 8 der Düsenkörper 9 aufgenommen, der seinerseits ein in vertikale Richtung bewegbares Einspritzventilglied 11 aufnimmt.

Figur 3 zeigt die erste Ausführungsvariante des erfindungsgemäß konfigurierten Kraftstoffinjektors in eine Ebene gedreht, in welcher die den Düsenraum im Düsenkörper beaufschlagende Zentralbohrung 36 liegt.

Aus der Darstellung gemäß Figur 3 geht hervor, dass innerhalb des Zulaufanschlusses ein Stabfilterelement 14 eingelassen ist. Unterhalb des Stabfilters 14 verläuft die Zentralbohrung 36 durch den Ventilkörper 2 und mündet an der Stoßfuge am unteren Ende des Ventilkörpers 2 in den Haltekörper 5. Über die Zentralbohrung 36 wird der das Einspritzventilglied 11 umgebende Düsenraum 12 innerhalb des Düsenkörpers 9 mit unter hohem Druck stehenden Kraftstoff versorgt. Seitlich am Ventilkörper 2 sind der Druckanschlussstutzen 31 sowie ein am zweiten Stellglied 16 angeordnetes Gehäuse 28 aufgenommen. Das zweite Stellglied 16 umfasst ebenfalls ein Gehäuse 28, an welchem ein Steckeranschluss 33 ausgebildet ist. Über den Steckeranschluss 33 am Gehäuse 28 erfolgt die Stromversorgung der vom Magnetkern 21 umschlossenen Magnetspulen an jedem der beiden Stellglieder 15 bzw. 16.

Figur 4 zeigt den Ventilkörper des Kraftstoffinjektors in einem vergrößerten Maßstab.

Der Ventilkörper 2 gemäß der Darstellung in Figur 4 umfasst einen zentral angeordneten Hochdruckzulauf 3. Dem Hochdruckzulauf 3 gegenüberliegend, befindet sich am unteren Bereich des Ventilkörpers 2 eine Überwurfmutter 4, mit welcher ein Haltekörper 5 am

Ventilkörper 2 auswechselbar aufgenommen ist. Im unteren Bereich des Ventilkörpers 2 weist dieser Leckagebohrungen 13 auf, die der Leckageölabfuhr dienen. Eine Leckageölabfuhr ist erforderlich, um aus den geöffneten Ablaufdrosseln 17 bzw. 18 abgesteuertes Steuerraumvolumen (Leckagestrom II) über Bohrungen, die in der 5 Ankerbolzenführung 46 ausgebildet sind, durch einen Ankerbolzen um die Ankerplatte 26 in den Ablaufstutzen 27 zu fördern. Daneben wird von der Düse abströmendes Lecköl (Leckagestrom I) von der den Haltekörper 5 der rechtwinklig durch den Ventilkörper 2 verlaufenden Bohrung ebenfalls über die Ankerbolzenführung 46 dem Ablaufstutzen 27 zugeleitet (vgl. Pfeile in Figur 4).

10 Sowohl der Ventilkörper 2 als auch der Haltekörper 5 weisen eine Zentralbohrung 6 auf, die in der Darstellung gemäß Figur 4 ein stangenförmig ausgebildetes Druckelement 7 umgibt. Die Stirnseite 20 des stangenförmigen Druckelementes 7 begrenzt einen Steuerraum 19, der innerhalb des Ventilkörpers 2 ausgebildet ist (vgl. Figur 1a). Der Steuerraum 19 innerhalb des Ventilkörpers 2 ist darüber hinaus außer durch die Stirnseite 20 des stangenförmigen Druckelementes 7 durch das Gehäuse des Ventilkörpers 2 begrenzt. Vom Steuerraum 19 innerhalb des Ventilkörpers 2 zweigen zwei einander gegenüberliegende Ablaufkanäle ab, die jeweils in eine erste Ablaufdrossel 17 bzw. in eine zweite Ablaufdrossel 18 übergehen. Die beiden, die Ablaufdrosseln 17 bzw. 18 jeweils 20 beaufschlagenden Kanäle liegen innerhalb des Ventilkörpers 2 einander gegenüber.

25 Jede der Ablaufdrosseln, d.h. die erste Ablaufdrossel 17 und die zweite Ablaufdrossel 18, sind in einem Einsatzstück 30 ausgebildet. Die Einsatzstücke 30 liegen im Ventilkörper 2 einander gegenüber und werden durch Ventilspannschrauben 29 im Ventilkörper 2 gehalten.

30 Jeder der Ablaufdrosseln 17 bzw. 18 ist ein Schließelement 43 bzw. 49 zugeordnet, welches gemäß Figur 4 als kugelförmiges Schließelement ausgebildet sein kann. Anstelle kugelförmig ausgebildeter Schließelemente 43 bzw. 49 können die Schließelemente, die durch das erste Stellglied 15 bzw. das zweite Stellglied 16 betätigt werden, auch als kegelförmig ausgebildete Schließkörper ausgeführt sein. Diese wirken dann mit Kegelsitzen zusammen, die an der dem Schließelement 43 bzw. 49 zuweisenden Seite des auswechselbar im Ventilkörper 2 aufgenommenen Einsatzes 30 ausgebildet sind. Die Betätigung, d.h. die Freigabe bzw. das Schließen der ersten Ablaufdrossel 17 bzw. der zweiten Ablaufdrossel 18, erfolgt über das erste Stellglied 15 bzw. das zweite Stellglied 16. Jedes der Stellglieder 15 bzw. 16, die einander gegenüberliegend am Ventilkörper 2 des Kraftstoffinjektors 1 aufgenommen sind, umfasst einen Magnetkern 21, welcher eine Magnetspule umgibt. Der Magnetkern 21 ist von einer zylindrisch ausgebildeten Magnethülse 22 umschlossen, wobei sich die Magnethülse 22 auch um den unteren,

tellerförmig ausgebildeten Ansatz eines Ablaufstutzens 27 erstreckt. Am Ablaufstutzen 27 und im oberen Bereich der den Magnetkern 21 umschließenden Magnethülse 22 ist das Gehäuse 28 mitsamt einem darin ausgebildeten Steckeranschluss 33 verrastet. Die Magnethülse 22 umfasst einen ringförmigen Ansatz, an dem sie von einer Magnetspannmutter 44 umschlossen ist, mit dem das erste Stellglied 15 sowie das zweite Stellglied 16 an einem Außengewinde des Ventilkörpers 2 des Kraftstoffinjektors 1 verschraubt werden können.

Der Magnetkern 21 des ersten Stellgliedes 15 und des zweiten Stellgliedes 16 umschließt 10 eine Druckfeder 25, die ihrerseits von einer Hülse umschlossen ist. Die Druckfeder 25 beaufschlagt einen Magnetanker 23, welcher zweiteilig ausgeführt ist und einen Ankerbolzen 24 sowie eine Ankerplatte 26 umfasst. Der Magnetanker umfasst einen Ankerbolzen 24 sowie eine den Ankerbolzen 24 umschließende Ankerplatte 26. Die Ankerbolzen 24 der Magnetanker des ersten Stellgliedes 15 bzw. des zweiten Stellgliedes 16 umfassen an ihrer den Schließelementen 43 bzw. 49 gegenüberliegenden Stirnseite Schließelementaufnahmen, die die Schließelemente 43, 49 - entsprechend deren Geometrie - teilweise umschließen.

Der tellerförmig ausgebildete Bereich des Ablaufstutzens 27 ist mit einem ersten Dichtring 20 40 versehen, welcher der Innenseite der den Magnetkern 21 umschließenden Magnethülse 22 gegenüberliegt. An der Außenseite umfasst die Magnethülse 22 einen weiteren, zweiten Dichtring 41. Bei der Ausführung des ersten Stellgliedes 15 bzw. des zweiten Stellgliedes 16 als Magnetventil kann der Magnetanker 24, 26 eine Ankerplattenfeder 42 umfassen, die 25 die Ankerplatte 26 des Magnetankers 24, 26 gegen eine Ankerbolzenführung 46, die den Ankerbolzen 24 umgibt, abstützt. Mit Bezugszeichen 45 ist der Hubweg gekennzeichnet, den das Magnetventil bei Bestromung der im Magnetkern 21 aufgenommenen Magnetspule 25 ausführt. Der Ankerhubweg 45 bezeichnet den Abstand zwischen der der Magnetspule im Ankerkern 21 zuweisenden Stirnseite der Ankerplatte 26 und der dieser gegenüberliegenden Stirnseite des Magnetkerns 21. Die die Ankerplatte 26 des 30 Magnetankers 24, 26 beaufschlagende Ankerplattenfeder 42 stützt sich auf einer Stirnseite 47 der Ankerbolzenführung 46 ab. Gemäß der in Figur 4 in vergrößertem Maßstab wiedergegebenen Ausführung des Ventilkörpers 2 des Kraftstoffinjektors 1 sind die Ablaufdrosseln 17 bzw. 18 in auswechselbaren Einsätzen 30 ausgebildet. Die Einsätze 30 können entweder - wie in Figur 4 dargestellt - über Ventilspannmuttern 29 einander 35 gegenüberliegend seitlich in entsprechenden Bohrungen im Ventilkörper 2 montiert werden. Daneben wäre es auch möglich, dass die Einsätze 30 unmittelbar durch das erste Stellglied 15 bzw. das zweite Stellglied 16 im Ventilkörper 2 fixiert werden können.

Die in Figur 4 nicht dargestellte, den Steuerraum 19 mit einem Steuervolumen beaufschlagende Zulaufdrossel 32 (vgl. Darstellung gemäß Figur 2) erstreckt sich senkrecht zur Zeichenebene und liegt in einer um 90° verdreht orientierten Lage zu den die Ablaufdrosseln 17 bzw. 18 beaufschlagenden Kanälen des Steuerraumes 19. Der im oberen 5 Bereich des Ventilkörpers 2 dargestellte, zentrale Hochdruckanschluss 3 geht in eine in Figur 4 nicht dargestellte, im wesentlichen parallel zur Zentralbohrung 6 im Haltekörper 5 und Ventilkörper 2 verlaufende Zulaufbohrung 36 über.

Aufgrund der Verbindung des Haltekörpers 5 mit dem unteren Ende des Ventilkörpers 2 10 über eine Überwurfmutter 4 kann unterschiedlichen Motoreinbaulängen des erfindungsgemäß konfigurierten Kraftstoffinjektors 1 Rechnung getragen werden. Ohne dass Modifikationen am relativ aufwendigen Ventilkörper 2 des Kraftstoffinjektors 1 erforderlich sind, kann nach Lösen der Überwurfmutter 4 zwischen Haltekörper 5 und Ventilkörper 2 ein Haltekörper 5 mittels der Überwurfmutter 4 am Ventilkörper 2 aufgenommen werden, der in passender Einbaulänge ausgebildet ist. Am unteren - in Figur 4 nicht dargestellten - Ende des Haltekörpers 5 - ist mittels einer Düsenspannmutter 8 ein Düsenkörper 9 aufgenommen, in welchem ein beispielsweise als Düsenadel ausgebildetes Einspritzventilglied 11 in vertikale Richtung bewegbar aufgenommen ist. Das Einspritzventilglied 11 kann über eine Schließfeder 10 (vgl. Darstellungen gemäß Figuren 20 1 bis 3) beaufschlagt sein. Der das Einspritzventilglied 11 innerhalb des Düsenkörpers 8 umgebende Düsenraum 12 wird über die sich im wesentlichen parallel zur Zentralbohrung 6 im Haltekörper 5 verlaufende Zulaufbohrung 36 mit unter hohem Druck stehenden Kraftstoff beaufschlagt.

25 Mit dem ersten Stellglied 15 bzw. dem zweiten Stellglied 16 kann der Steuerraum 19 druckentlastet werden. Um an einem Kraftstoffinjektor 1 eine Pilot-Einspritzung zu realisieren, kann die erste Ablaufdrossel 17 im entsprechenden Einsatz 30 mit einem sehr kleinen Querschnitt ausgebildet werden. Wird das erste Stellglied 15 angesteuert, wird der Steuerraum 19 innerhalb des Ventilkörpers 2 nur über die erste Ablaufdrossel 17 druckentlastet. Durch die kleine Abströmmenge können Druckschwingungen sehr klein gehalten werden. Aufgrund der Druckschwingungen mit geringer Amplitude wirken sich diese auf zeitlich darauf folgende Einspritzungen nicht negativ aus. Die Haupteinspritzung kann demzufolge zyklusstabil gehalten werden, wobei die Kleinstmengenfähigkeit des Kraftstoffinjektors 1 durch die kleine Dimensionierung der ersten Ablaufdrossel 17 30 erheblich verbessert werden kann. Das zweite Stellglied 16 kann je nach Abstimmung der Ablaufdrosselquerschnitte der Ablaufdrosseln 17 bzw. 18 zusammen mit dem ersten Stellglied 15 oder getrennt von diesem angesteuert werden. Bei gemeinsamer Ansteuerung des ersten Stellgliedes 15 und des zweiten Stellgliedes 16 erfolgt eine Druckentlastung des Steuerraumes 19 innerhalb des Ventilkörpers 2 über beide Ablaufdrosseln 17 und 18.

Dadurch kann der Steuerraum 19 sehr schnell druckentlastet werden, was eine höhere Öffnungsgeschwindigkeit des Einspritzventilgliedes 11 zur Folge hat. Aufgrund dessen stellt sich bei Haupteinspritzungen keine Drosselung der Strahlaufbereitungsenergie am Sitz des Einspritzventilgliedes 11 ein, die Strahlaufbereitungsenergie steht vielmehr an der 5 oder den Einspritzöffnungen des Kraftstoffinjektors 1 in den Brennraum einer selbstzündenden Verbrennungskraftmaschine an.

Figur 4a zeigt eine vergrößerte Darstellung einer Ankerbolzenführung, die in den Ventilkörper 2 eingelassen ist.

10 In der Darstellung gemäß Figur 4a ist die Ankerbolzenführung 46 in vergrößertem Maßstab herausgezeichnet dargestellt. Der mit I bezeichnete Leckölstrom bezeichnet den von der Düse über den Haltekörper 5 und den rechtwinklig im Ventilkörper 2 verlaufenden Bohrungsabschnitt in den Ablaufstutzen 27 ablaufenden Leckagestrom, während mit II der von den geöffneten Ablaufdrosseln 17 bzw. 18 aus dem Steuerraum 19 abströmende Leckölvolumenstrom bezeichnet ist. Die Ankerbolzenführung 46, welche den Ankerbolzen 24 des Magnetankers umschließt, kann dazu in einem scheibenförmigen Bereich verlaufende Bohrungen sowie sich radial zu diesen erstreckende Bohrungsabschnitte aufweisen, so dass die Leckageströme I bzw. II den in Figur 4 durch die Pfeile 20 angedeuteten Strömungswege nehmen können, wobei die Leckageströme I bzw. II stets durch den Ablaufstutzen 27 den Ventilkörper 2 des Kraftstoffinjektors 1 gemäß der Darstellung in Figur 4 verlassen.

Figur 5 zeigt ein doppelschaltendes Stellglied, welches am erfindungsgemäßen Kraftstoff- 25 injektor gemäß den Figuren 1 bis 4 eingesetzt werden kann.

Gemäß der zweiten Ausführungsvariante des der Erfindung zugrundeliegenden Gedankens können statt zweier getrennt ansteuerbarer Stellglieder 15 und 16 ein doppelschaltendes Stellglied 50 eingesetzt werden. Das doppelschaltende Stellglied 50 kann als Piezoaktor 30 oder auch als Magnetventil ausgebildet sein. Bei Ausführung des doppelschaltenden Stellgliedes 50 als Magnetventil umfasst dieses eine Magnetspule 50.1, welche bei unterschiedlichen Bestromungsstärken unterschiedliche Öffnungsgeschwindigkeiten des Einspritzventilgliedes 11 zur Folge erzeugt. Der in Figur 5 dargestellte Aufbau des Kraftstoffinjektors mit doppelschaltendem Magnetventil 50 ist hier schematisch 35 wiedergegeben. Im Vergleich zur erstgenannten Ausführungsvariante sind die Bauteile Düse, Haltekörper 5 und Druckstange 7 identisch. Analog zur Darstellung des Kraftstoffinjektors 1 in den Figuren 1 bis 4 gemäß der ersten Ausführungsvariante der erfindungsgemäßen Lösung wird der Steuerraum 19 durch eine erste Ablaufdrossel 17 und eine weitere, zweite Ablaufdrossel 18 druckentlastet. Die Beaufschlagung des

Steuerraumes 19 mit unter hohem Druck stehenden Kraftstoff erfolgt über eine Zulaufdrossel 32, die ihrerseits über einen Hochdruckanschluss 56 beaufschlagt ist. Vor der Zulaufdrossel 32 zweigt eine Zulaufbohrung 57 zum Düsenraum 12 ab, der das als Düsenadel ausgebildete Einspritzventilglied 11 umgibt. Das Einspritzventilglied 11 ist durch eine Schließfeder 10 beaufschlagt und umfasst eine Druckstufe 58, die in den Düsenraum 12 hineinragt. Am brennraumseitigen Ende des Einspritzventilgliedes 11 sind Einspritzöffnungen 59 dargestellt, über welche der unter hohem Druck stehende Kraftstoff in den Brennraum einer selbstzündenden oder fremdgezündeten Verbrennungskraftmaschine eingespritzt werden kann.

10

Das doppelschaltende Stellglied 50 umfasst bei einer Ausführung als doppelschaltendes Magnetventil eine Magnetspule 50.1. An einem von der Magnetspule 50.1 umschlossenen Stützring 51 stützt sich eine erste Druckfeder 52 sowie eine weitere, zweite Druckfeder 53 ab. Die erste Druckfeder 52 beaufschlagt einen ersten Ankerbolzen 54, während die zweite, sich am Stützring 51 abstützende zweite Druckfeder 53 einen zweiten Ankerbolzen 55 beaufschlagt. Die Ankerbolzen 54 bzw. 55 gemäß der zweiten Ausführungsvariante des Kraftstoffinjektors 1 entsprechen den Ankerbolzen 24 dem Magnetanker 24, 26 gemäß der ersten Ausführungsvariante des Kraftstoffinjektors 1 nach Figur 4. Über das doppelschaltende Stellglied 50 kann ein erstes Ventil 60 und ein zweites Ventil 61 angesteuert werden. Das unterschiedliche Öffnen bzw. Schließen der Magnetanker bzw. der Magnetankerbolzen 54 und 55 am doppelschaltenden Stellglied 50 kann einerseits durch unterschiedliche Federkräfte und andererseits durch unterschiedliche Ankergeometrien herbeigeführt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Ankergeometrien ändern sich die jeweils erzeugbaren Magnetkräfte entsprechend der Änderung der Ankergeometrie. Bei Bestromung der Magnetspule 50.1 mit einem ersten Bestromungsniveau öffnet beispielsweise das erste Ventil 60 und ermöglicht eine Druckentlastung des Steuerraumes 19 über die erste Ablaufdrossel 17. Bei einer Erhöhung der Bestromung der Magnetspule 50.1 des doppelschaltenden Stellgliedes 50 erfolgt eine gleichzeitige Betätigung der Ankerbolzen 54 bzw. 55, so dass das erste Ventil 60 und das zweite Ventil 61 betätigt werden, so dass eine Druckentlastung des Steuerraumes 19 sowohl über die erste Ablaufdrossel 17 als auch über die zweite Ablaufdrossel 18 erfolgen kann. Der erste Ankerbolzen 54 bzw. der zweite Ankerbolzen 55 umfassen in Figur 5 schematisch angedeutete Schließelementführungen, welche die in der Darstellung gemäß Figur 5 als Kugelkörper ausgebildeten Schließ-Elemente 43 bzw. 49 teilweise umschließen. Die Schließelemente 43 bzw. 49 arbeiten mit Sitzflächen 48 zusammen, die in den auswechselbar im Ventilkörper 2 aufgenommenen Einsätzen 30 (vgl. Darstellung gemäß Figur 4) ausgebildet sein können. Anstelle der in Figur 5 dargestellten kugelförmig ausgebildeten Schließelemente 43 bzw. 49 können diese auch als Kegelkörper ausgebildet

sein, die mit entsprechend konfigurierten Sitzflächen an den Einsätzen 30 (vgl. Darstellung gemäß Figur 4) zusammenwirken können.

Bei Bestromung der Magnetspule 50.1 des doppelschaltenden Stellgliedes 50 mit einem 5 ersten Stromniveau wird eines der Ventile 60 bzw. 61 mit geringerer Federkraft oder erhöhter Magnetkraft angesteuert. Bei einer Erhöhung des Stromniveaus, mit welchem die Magnetspule 50.1 des doppelschaltenden Stellgliedes 50 bestromt wird, auf ein zweites Stromniveau können beide Ventile 60 bzw. 61 geöffnet werden, so dass beide Ablaufdrosseln 17 bzw. 18 offen stehen und das Einspritzventilglied 11 - etwa vor einer 10 Haupteinspritzung - mit erhöhter Öffnungsgeschwindigkeit öffnet.

Figur 6.1 und 6.2 sind Bestromungsverläufe mit der Magnetspule eines doppelschaltenden Stellgliedes sowie die sich einstellenden Ventilhübe der Ventile zu entnehmen.

Gemäß einem ersten, mit Bezugszeichen 70 bezeichneten Bestromungsverlaufs kann eine Bestromung der Magnetspule 50.1 erfolgen, die während einer Ansteuerdauer 77 das erste Ventil 60, d.h. die erste Ablaufdrossel 17, betätigt. Die Bestromung der Magnetspule 50.1 während der Ansteuerdauer 77 erfolgt derart, dass die Magnetspule 50.1 mit einem Stromstoß, einer Stromüberhöhung 72 angesteuert wird, die nach einem Zeitraum auf ein 20 erstes Stromniveau 71 zurückgenommen wird. Dadurch öffnet das Schließelement 43 des ersten Ventils 60 während der Ansteuerzeit 77 der Magnetspule 50.1 mit einem ersten Stromverlauf 70.

Erfolgt eine Bestromung der Magnetspule 50.1 des doppelschaltenden Stellgliedes 50 mit 25 einem zweiten Stromverlauf 73, so öffnen sowohl das Ventil 60 als auch das Ventil 61. Durch die unterschiedlichen Federkraft-/Magnetkraftauslegungen in Bezug auf die Ventile 60 und 61 öffnet das Ventil 61 zeitverzögert im Vergleich zum Ventil 60 und schließt nach dem Ende der Bestromung etwas früher. Der zweite Bestromungsverlauf 73 ist dadurch gekennzeichnet, dass zu Beginn der Bestromungsdauer 76 eine Stromüberhöhung 75 30 erfolgt, die nach einer bestimmten Zeitspanne auf ein zweites Stromniveau 74 zurückgenommen wird. Aufgrund der höheren Stromstärke erfolgt ein Öffnen sowohl des ersten Ventils 60 als auch des zweiten Ventils 61 während einer gemeinsamen Ansteuerdauer 78. Während der gemeinsamen Ansteuerdauer 78 aufgrund des Stromniveaus der Bestromung der Magnetspule 50.1 wird der Steuerraum 19 gleichzeitig 35 sowohl durch die erste Ablaufdrossel 17 als auch durch die zweite Ablaufdrossel 18 druckentlastet.

In der Darstellung gemäß Figur 6.3 und 6.4 sind Varianten von Bestromungsverläufen und Ventilhubwegen einander gegenübergestellt.

Aus Figur 6.3 geht hervor, dass eine Bestromung des ersten Ventils 60 während der Ansteuerdauer 77 mit einem ersten Bestromungsverlauf 70 analog zu Figur 6.1 erfolgt. Demzufolge legt das erste Ventil 60 während der Ansteuerdauer 77 einen Hubweg zurück, der identisch mit dem Hubweg des ersten Ventils 60 gemäß Figur 6.2 ist.

Gemäß der Darstellung in Figur 6.3 erfolgt nun eine modifizierte Bestromung der Magnetspule 50.1 des doppelschaltenden Stellgliedes 50 gemäß eines dritten Bestromungsverlaufs 79. Der dritte Bestromungsverlauf 79 ist dadurch gekennzeichnet, dass der zweiten Stromüberhöhung 75 im Gegensatz zum zweiten Bestromungsverlauf 73 gemäß der Darstellung in Figur 6.1 ein Stromimpuls vorgeschaltet ist, welcher dem ersten Bestromungsverlauf 70 entspricht. Dieser liegt jedoch noch auf dem geringeren Stromniveau, so dass während der Phase des dritten Bestromungsverlaufs 79, die dem ersten Bestromungsverlauf 70 entspricht, das zweite Ventil 61 geschlossen bleibt.

Figur 6.4 sind die sich einstellenden Hubwege des ersten Ventils 60 und des zweiten Ventils 61 bei der Bestromung mit einem dritten Bestromungsverlauf 79 zu entnehmen. In der Phase des dritten Bestromungsverlaufs 79, die dem ersten Bestromungsverlauf 70 entspricht, bleibt das zweite Ventil 61 zunächst geschlossen. Erst wenn der dritte Bestromungsverlauf 79 die zweite Stromüberhöhung 75 erreicht hat, öffnet das zweite Ventil 61 zusätzlich zum bereits offenstehenden ersten Ventil 60. Mit dem dritten Bestromungsverlauf 79 kann demzufolge ein Zuschalten des zweiten Ventils 61, d.h. ein Zuschalten der zweiten Ablaufdrossel 18 zur bereits offenstehenden ersten Ablaufdrossel 17, zur Druck-entlastung des Steuerraumes 19 erreicht werden. Während der mit Bezugszeichen 81 gekennzeichneten Steuerdauer erfolgt ein Zuschalten des zweiten Ventils 61 nach einer Verzögerungsphase 82, so dass eine schnellere Druckentlastung des Steuerraumes 19 erst ab dem Zuschalten des zweiten Ventils 61 erfolgt. Durch dieses zeitlich variable Zuschalten des zweiten Ventils 61 kann der Hubverlauf des Einspritzventilgliedes 11 zur Einspritzverlaufsformung gesteuert werden. Dadurch lässt sich eine gezielte Verzögerung der Hubbewegung des Einspritzventilgliedes 11 erreichen.

Die folgenden Ausführungsvarianten der Erfindung bieten die Möglichkeit zu einer noch stärkeren Variation der Geschwindigkeit der Düsenadel des Kraftstoffinjektors und zur Erzeugung eines sehr hohen Einspritzdrucks, der das Druckniveau eines Druckspeichers noch übersteigt. Die hohe Geschwindigkeit der Düsenadel bewirkt eine Verringerung der Drosselung im Düsensitz. Beide Effekte führen zu einer sehr feinen und gleichmäßigen Zerstäubung des Kraftstoffs während des Einspritzvorgangs und damit zu einer weiteren Verringerung der Emission schädlicher Abgase. Durch entsprechende Steuerung der

Magnetsteller ist es weiterhin auf einfache Weise möglich, den Verlauf des Einspritzvorgangs optimal an den Bedarf der Verbrennungskraftmaschine anzupassen.

Figur 7 zeigt eine vorteilhafte weitere Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Kraftstoffinjektors mit einem Druckverstärker und mit Steuerung des Kraftstoffinjektors über zwei 2/2-Ventile. Der hier schematisch dargestellte Kraftstoffinjektor 1 ist Bestandteil eines Einspritzsystems, das weiterhin einen Kraftstofftank 83, eine Hochdruckpumpe 84, einen Druckspeicher 85 sowie weitere, hier nicht dargestellte Kraftstoffinjektoren umfasst. Der Kraftstoffinjektor 1 umfasst einen Druckverstärker 86 mit einem Federraum 86.3, einer in diesem Federraum angeordneten Feder 86.2 und einem von der Feder 86.2 beaufschlagten Druckverstärkerkolben 86.1. Weiter sind ein Rückschlagventil 87, sowie eine Zulaufdrossel 88 vorgesehen. Die Zulaufdrossel 88 ist ausgangsseitig mit dem Steuerraum 19 des Kraftstoffinjektors 1 verbunden. Mit dem Steuerraum 19 sind eine erste Ablaufdrossel 17, die ausgangsseitig mit einem ersten 2/2-Ventil verbunden ist und eine zweite Ablaufdrossel 18, die ausgangsseitig mit einem zweiten 2/2-Ventil verbunden ist, verbunden.

Im Folgenden wird die Funktionsweise dieses ersten Ausführungsbeispiels beschrieben. Dabei lassen sich drei Steuervarianten unterscheiden. Bei einer ersten Steuervariante wird durch das Ansteuern des ersten 2/2-Ventils 15 die erste Ablaufdrossel 17 geöffnet und dadurch der Steuerraum 19 des Kraftstoffinjektors 1 entlastet. Die an der Düsennadel 11 angreifenden Kräfte heben diese gegen den Druck der Feder 10 an und öffnen so die Einspritzdüse. Es erfolgt eine Einspritzung mit dem Druck des Druckspeichers 85. Wird das erste 2/2-Ventil 15 wieder geschlossen, steigt der Druck in dem Steuerraum 19 des Kraftstoffinjektors 1 wieder an, die Einspritzdüse wird geschlossen und die Einspritzung somit beendet.

Bei einer zweiten Steuervariante werden durch Ansteuerung des zweiten 2/2-Ventils 16 die zweite Ablaufdrossel 18 und zusätzlich die Entlastungsleitung des Federraums 86.3 des Druckverstärkers 86 geöffnet. Wie oben schon anlässlich der Öffnung des ersten 2/2-Ventils 15 beschrieben, wird dadurch einerseits der Steuerraum 19 des Kraftstoffinjektors 1 entlastet, das Einspritzventilglied 11 angehoben und die Einspritzdüse geöffnet. Gleichzeitig erfolgt jedoch auch eine Entlastung des Federraums 86.3 des Druckverstärkers 86, mit der Folge, dass sich der Kolben 86.1 des Druckverstärkers 86 gegen den Druck der ihn beaufschlagenden Feder 86.2 in Bewegung setzen kann. Dadurch wird auf der Hochdruckseite eine Druckerhöhung herbeigeführt und die Einspritzung erfolgt mit einem Druck, der jenen des Druckspeichers 85 übersteigt. In der Praxis lässt sich ein

Kolbenflächenverhältnis zwischen der Niederdruckseite und der Hochdruckseite des Druckverstärkers 86 von etwa 1:1,5 bis etwa 1:3 erreichen. Bei Vernachlässigung dynamischer Druckwelleneffekte entsprechen diese Faktoren in etwa der Druckerhöhung, die mit dem Druckverstärker 86 erreichbar ist.

5

Bei einer dritten Steuervariante werden das erste 2/2-Ventil 15 und das zweite 2/2-Ventil 16 zugleich angesteuert. Dadurch werden die erste Ablaufdrossel 17, die zweite Ablaufdrossel 18 und zugleich die Entlastungsleitung 86.4 des Federraums 86.3 des Druckverstärkers 86 freigegeben. Damit wird einerseits, wie oben schon beschrieben, der Steuerraum 19 des Kraftstoffinjektors 1 entlastet. Diesmal jedoch über zwei Ablaufdrosseln 17 und 18. Dies hat zur Folge, dass das Einspritzventilglied 11 wesentlich schneller geöffnet wird. Zeitgleich stellt der Druckverstärker 86, wie auch zuvor schon beschrieben, wieder einen wesentlich höheren Einspritzdruck bereit.

15 Im Vorstehenden wurden bei diesem Ausführungsbeispiel der Erfindung gemäß Figur 7 drei unterschiedliche, vorteilhafte Steuervarianten beschrieben. In der Praxis ergibt sich eine große Variationsbreite durch eine zeitliche Verschiebung der Steuerzeitpunkte des ersten 2/2-Ventils 15 und des zweiten 2/2-Ventils 16. Dadurch können die Öffnungsgeschwindigkeit des Einspritzventilgliedes 11 und der Verlauf der Einspritzung beeinflusst werden. Dies wird anhand von Figur 9 erläutert, die in einem Diagramm die Darstellung des Hubs des Einspritzventilgliedes 11 als Funktion der Zeit t zeigt. Der Kurvenverlauf A ergibt sich, wenn das erste 2/2-Ventil 15 und das zweite 2/2-Ventil 16 gleichzeitig angesteuert werden. Der Kurvenverlauf B ergibt sich, wenn das zweite 2/2-Ventil 16 etwas später als das erste 2/2-Ventil 15 angesteuert wird. Schließlich ergibt sich der Kurvenverlauf C, wenn das zweite 2/2-Ventil 16 deutlich später als das erste 2/2-Ventil 15 angesteuert wird.

25 Weiterhin lässt sich auf vorteilhafte Weise, durch eine Verschiebung des Steuerbeginns des ersten 2/2-Ventils 15 und des zweiten 2/2-Ventils 16, der Verlauf der Einspritzung formen. Dies wird durch das in Figur 10 dargestellte Diagramm verdeutlicht, das den Einspritzverlauf als Funktion der Zeit t darstellt. Der im Wesentlichen rechteckförmige Verlauf der Kurve A10 ergibt sich bei gleichzeitiger Ansteuerung des ersten 2/2-Ventils 15 und des zweiten 2/2-Ventils 16. Wird das zweite 2/2-Ventil 16 zeitlich etwas später angesteuert als das erste 2/2-Ventil 15, ergibt sich der durch die Kurve B10 repräsentierte rampenförmige Verlauf. Schließlich ergibt sich die im Wesentlichen bootförmige Gestalt der Kurve C10, wenn das zweite 2/2-Ventil 16 deutlich später als das erste 2/2-Ventil 15

angesteuert wird. Der unterschiedliche Verlauf der zuvor diskutierten Kurven lässt sich auf den Beginn der Wirkung des Druckverstärkers 86 zurückführen.

5 Im Folgenden wird ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung erläutert, das schematisch in Figur 8 dargestellt ist. Das dort dargestellte Einspritzsystem umfasst wiederum einen mit einer Hochdruckpumpe 84 verbundenen Kraftstofftank 83. Die Hochdruckpumpe 84 steht mit einem Druckspeicher 85 in Verbindung. Mit Bezugsziffer 1 ist wiederum ein Kraftstoffinjektor bezeichnet. Abweichend zu dem in Figur 7 dargestellten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist jetzt anstelle von zwei 2/2-Ventilen 10 15, 16, nur ein als 3/3-Ventil ausgestalteter Magnetsteller 89 vorgesehen, der eingangsseitig mit der ersten Ablaufdrossel 17, der zweiten Ablaufdrossel 18 und der Entlastungsleitung 86.4 des Federraums 86.3 des Druckverstärkers 86 verbunden ist. Dieses Ausführungsbeispiel der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass anstelle von 15 zwei Magnetstellern nur ein einziger Magnetsteller 89 mit einer erweiterten Funktion vorgesehen ist. Die grundsätzliche Funktion des Kraftstoffinjektors wird dadurch, bis auf eine geringe Einschränkung der Freiheitsgrade, nicht beeinträchtigt. Die zweite Ablaufdrossel 18 und der Druckverstärker 86 können nur dann aktiviert werden, wenn die 20 erste Ablaufdrossel 17 und der Magnetsteller 89 früher oder zeitgleich geöffnet wurden. Dieses Ausführungsbeispiel bietet jedoch den Vorteil, dass nur ein einziger Magnetsteller 89 oder Piezosteller in den Kraftstoffinjektor integriert und angesteuert werden muss.

25 Auch bei diesem Ausführungsbeispiel der Erfindung lassen sich wiederum drei Steuervarianten unterscheiden, die durch eine entsprechende Steuerung des Magnetstellers 89 vorgebbar sind. Dabei kann der Magnetsteller 89 oder ein eingesetzter Piezosteller drei verschiedene Schaltstellungen S0, S1 und S3 einnehmen.

30 In der ersten Schaltstellung S0 des Magnetstellers 89 sind die Ablaufleitungen der beiden Ablaufdrosseln 17, 18 und die Entlastungsleitung 86.4 des Federraums 86.3 des Druckverstärkers 86 verschlossen. Dies bedeutet, dass keine Einspritzung stattfindet, beziehungsweise, dass ein Einspritzvorgang beendet wird.

35 In der zweiten Schaltstellung S1 des Magnetstellers 89 erfolgt die Steuerung der Einspritzmenge lediglich über eine einzige Ablaufdrossel, nämlich die Ablaufdrossel 17. Der zur Verfügung stehende Einspritzdruck entspricht dem Druckniveau des Druckspeichers 85. Auch die erreichbare Nadelgeschwindigkeit der Düsenadel des Kraftstoffinjektors liegt im Bereich schon bewährter Konstruktionen.

In einer dritten Schaltstellung S2 des Magnetstellers 89 erfolgt eine Steuerung der Einspritzmenge gleichzeitig über die zwei Ablaufdrosseln 17 und 18, verbunden mit einer Druckerhöhung durch den Druckverstärker 86. Der dadurch bereitgestellte Einspritzdruck liegt wesentlich höher als das Druckniveau des Druckspeichers 85 und kann in der Praxis 5 den 1,5 bis 3-fachen Wert dieses Druckniveaus erreichen. Wie oben schon ausgeführt, ist die durch den Druckverstärker 89 erreichbare Druckverstärkung abhängig von dem Kolbenflächenverhältnis zwischen der Hochdruckseite und der Niederdruckseite des Druckverstärkers 86.

Bezugszeichenliste

- 1 Kraftstoffinjektor
- 2 Ventilkörper
- 5 3 Hochdruckanschluss für Düsenraum
- 4 Überwurfmutter
- 5 Haltekörper
- 6 Zentralbohrung
- 7 Druckstange
- 10 8 Düsenspannmutter
- 9 Düsenkörper
- 10 Schließfeder
- 11 Einspritzventilglied
- 12 Düsenraum
- 13 Leckagebohrung
- 14 Stabfilter
- 15 erster Magnetsteller
- 16 zweiter Magnetsteller
- 17 erste Ablaufdrossel
- 20 18 zweite Ablaufdrossel
- 19 Steuerraum
- 20 Stirnseite Druckstange 7
- 21 Magnetkern
- 22 Magnethülse
- 25 23 Magnetanker
- 24 Ankerbolzen
- 25 Druckfeder
- 26 Ankerplatte
- 27 Ablaufstutzen
- 30 28 Gehäusesteckeranschluss
- 29 Ventilspannschraube
- 30 Drosselleinsatz
- 31 Hochdruckanschlussstutzen für Steuerraum
- 32 Zulaufdrossel Steuerraum 19
- 35 33 Steckeranschluss
- 34 Druckmessanschluss
- 35 Einsatzstück
- 36 Zulaufbohrung für Düsenraum

- 40 erster Dichtring
- 41 zweiter Dichtring
- 42 Ankerplattenfeder
- 43 Schließelement erstes Stellglied
- 5 44 Magnetspannmutter
- 45 Magnetanker Hubweg
- 46 Ankerbolzenführung
- 47 Stirnseite Ankerbolzenführung
- 48 Sitzschließelement
- 10 49 Schließelement zweites Stellglied
- 50 doppelschaltendes Stellglied
- 50.1 Magnetspule
- 51 Stützring
- 52 erste Druckfeder
- 53 zweite Druckfeder
- 54 erster Ankerbolzen
- 55 zweiter Ankerbolzen
- 56 Hochdruckanschluss
- 57 Düsenraumbohrung
- 20 58 Druckstufe
- 59 Einspritzöffnung
- 60 erstes Ventil
- 61 zweites Ventil

- 25 70 erster Stromverlauf
- 71 erstes Stromniveau
- 72 erste Stromstärkenüberhöhung
- 73 zweiter Stromverlauf
- 74 zweites Stromniveau
- 30 75 zweite Stromüberhöhung
- 76 Bestromungsdauer
- 77 erster zeitlicher Verlauf der Magnetventilbewegung
- 78 Verlauf der gemeinsamen Magnetventilbewegung
- 79 dritter Bestromungsverlauf
- 35 80 zeitlicher Verlauf der Bewegung des Magnetventils
- 82 versetzte verzögerte Ansteuerung

- 83 Kraftstofftank
- 84 Hochdruckpumpe
- 85 Druckspeicher
- 86 Druckverstärker
- 5 86.1 Kolben
- 86.2 Feder
- 86.3 Federraum
- 86.4 Entlastungsleitung
- 87 Rückschlagventil
- 10 88 Zulaufdrossel
- S0 erste Schaltstellung
- S1 zweite Schaltstellung
- S2 dritte Schaltstellung

Patentansprüche

- 5 1. Kraftstoffinjektor an Einspritzanlagen für Verbrennungskraftmaschinen mit einem Ventilkörper (2), in welchem ein druckentlastbarer Steuerraum (19) ausgebildet ist, der über eine Zulaufdrossel (32) mit Kraftstoff beaufschlagbar ist und über eine erste Ablaufdrossel (17) druckentlastbar ist, deren Schließelement (43) über ein Stellglied (15) betätigbar ist und der Ventilkörper (2) mit einem Haltekörper (5) verbunden ist, an welchem ein Einspritzventilglied (11) umgebender Düsenkörper (9) befestigt ist, dadurch gekennzeichnet, dass zur Druckentlastung des Steuerraums (19) eine weitere, zweite Ablaufdrossel (18) vorgesehen ist, deren Schließelement (49) mittels eines weiteren Stellgliedes (16) oder abhängig von der Bestromung (70, 73, 79) eines doppelschaltenden Stellgliedes (50) betätigbar ist.
- 10 2. Kraftstoffinjektor gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Ablaufdrossel (17) und die weitere, zweite Ablaufdrossel (18) im Ventilkörper (29) einander gegenüberliegend angeordnet sind.
- 20 3. Kraftstoffinjektor gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste und die zweite Ablaufdrossel (17, 18) in einander gegenüberliegenden Einsätzen (30) im Ventilkörper (2) ausgebildet sind.
- 25 4. Kraftstoffinjektor gemäß Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die die erste und zweite Ablaufdrossel (17, 18) aufnehmenden Einsätze (30) auswechselbar sind und über Ventilspannschrauben (29) im Ventilkörper (2) befestigt sind.
- 30 5. Kraftstoffinjektor gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Zulaufdrossel (32) in einem auswechselbaren Einsatzstück (35) ausgebildet ist, welches im Ventilkörper (2) über einen Hochdruckstutzen (31) fixiert ist.
- 35 6. Kraftstoffinjektor gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Zulaufdrossel (32) des Steuerraumes (19) um 90° versetzt zur ersten und zweiten Ablaufdrossel (17, 18) orientiert ist.
7. Kraftstoffinjektor gemäß Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Zulaufdrossel (32) des Steuerraumes (19) im Ventilkörper (2) eine Drosselstelle aufweisender Druckmessanschluss (34) gegenüberliegt.

8. Kraftstoffinjektor gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die den Ablaufdrosseln (17, 18) jeweils zugeordneten Schließelemente (43, 49) kugelförmig ausgebildet sind.
- 5 9. Kraftstoffinjektor gemäß der Ansprüche 1 und 3, dadurch gekennzeichnet, dass die den Ablaufdrosseln (17, 18) jeweils zugeordneten Schließelemente (43, 49) als Kegelkörper ausgebildet sind, die mit einem in den Einsätzen (30) ausgebildeten Sitz (48) zusammenwirken.
- 10 10. Kraftstoffinjektor gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das erste und das zweite Stellglied (15, 16) sowie das doppelschaltende Stellglied (50) als Magnetventile ausgeführt sind.
11. Kraftstoffinjektor gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das erste und das zweite Stellglied (15, 16) sowie das doppelschaltende Stellglied (50) als Piezosteller ausgeführt sind.
12. Kraftstoffinjektor gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Haltekörper (5) auswechselbar mit dem Ventilkörper (2) verbunden ist.
- 20 13. Kraftstoffinjektor gemäß Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Haltekörper (5) mittels einer Überwurfmutter (4) am Ventilkörper (2) befestigt ist.
14. Kraftstoffinjektor gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass am Ventilkörper (2) ein zentraler Hochdruckanschluss (3) angeordnet ist, über den ein das Einspritzventilglied (11) umgebender Düsenraum (12) im Düsenkörper (9) mit Kraftstoff beaufschlagt ist, wobei der Kraftstoff dem Düsenraum (12) über eine im Ventilkörper (2) bzw. im Haltekörper (5) ausgebildete Zulaufbohrung (36, 57) zuströmt, die parallel zur Zentralbohrung 6 im Haltekörper (5) verläuft.
- 25 30 15. Kraftstoffinjektor gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das doppelschaltende Stellglied (50) als Magnetventil ausgeführt ist, dessen Magnetspule (50.1) ein erstes und ein zweites Ventil (60, 61), die der ersten und der zweiten Ablaufdrossel (17, 18) zugeordnet sind, abhängig von der Bestromung der Magnetspule (50.1) geringfügig zeitverzögert oder nacheinander ansteuert.
- 35 16. Kraftstoffinjektor gemäß Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Bestromung der Magnetspule (50.1) mit einem ersten Bestromungsverlauf (70) für das erste Ventil (60) und einem zweiten Bestromungsverlauf (73) für das zweite Ventil (61) erfolgt

und die Bestromungsverläufe (70, 73, 79) jeweils eine Stromüberhöhung (72, 75) aufweisen.

17. Kraftstoffinjektor gemäß Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass während der 5 Ventilbewegung (77) ausschließlich das erste Ventil (60) öffnet, welches mit einem ersten Bestromungsverlauf (70) bestromt wird.
18. Kraftstoffinjektor gemäß Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass während einer 10 zweiten Ventilbewegung (78) das erste Ventil (60) und das zweite Ventil (61) mit einem zweiten Bestromungsverlauf (73) angesteuert werden und geringfügig zeitlich verzögert öffnen.
19. Kraftstoffinjektor gemäß Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Ventil (60) mit einem ersten Bestromungsverlauf (70) während einer ersten Ansteuerdauer (77) angesteuert wird und während einer gemeinsamen Ansteuerdauer (80) von erstem und zweitem Ventil (61, 61) das zweite Ventil (61) mit dem dritten Bestromungsverlauf (79) bestrombar ist.
20. Kraftstoffinjektor nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass er 20 einen Druckverstärker (86) mit einem von einer Feder (86.2) belasteten Kolben (86.1) umfasst, und dass die Niederdruckseite des Druckverstärkers (86) mit einem Druckspeicher (85) und die Hochdruckseite des Druckverstärkers (86) mit dem Düsenraum (12) des Kraftstoffinjektors (1) verbunden ist.
25. Kraftstoffinjektor nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass das Kolbenflächenverhältnis zwischen der Hochdruckseite und der Niederdruckseite des Druckverstärkers (86) in einem Bereich von 1:1,5 bis 1:3 liegt.
30. Kraftstoffinjektor nach einem der Ansprüche 1 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass der Federraum (86.3) des Druckverstärkers (86) über eine Entlastungsleitung (86.4) mit dem dem Steuerraum (19) des Kraftstoffinjektors (1) abgewandten Anschluss der zweiten Ablaufdrossel (18) verbunden ist.
35. Kraftstoffinjektor nach einem der Ansprüche 1 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass der Druckverstärker (86) ein Rückschlagventil (87) umfasst, das die Hochdruckseite des Druckverstärkers (86) gegen die Niederdruckseite des Druckverstärkers (86) abschließt.

24. Verfahren zur Steuerung eines Kraftstoffinjektors nach einem der Ansprüche 20 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass durch Bestromung des ersten Magnetstellers (15) oder eines Piezostellers die erste Ablaufdrossel (17) geöffnet, dadurch der Steuerraum (19) des Kraftstoffinjektors (1) entlastet und durch das dadurch bewirkte Öffnen der Düsenadel der Einspritzvorgang eingeleitet wird.

5

25. Verfahren zur Steuerung eines Kraftstoffinjektors nach einem der Ansprüche 20 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass durch Bestromung des zweiten Magnetstellers (16) oder eines Piezostellers die zweite Ablaufdrossel (18) und zusätzlich die Entlastungsleitung (86.4) des Federraums (86.3) des Druckverstärkers (86) geöffnet werden, wobei durch die dadurch erfolgende Entlastung des Steuerraums (19) des Kraftstoffinjektors (1) die Düsenadel geöffnet und infolge der einsetzenden Bewegung des Kolbens (86.1) des Druckverstärkers (86) der Düsenraum (12) des Kraftstoffinjektors (1) mit einem das Druckniveau des Druckspeichers (85) übersteigenden Druck beaufschlagt wird.

10

26. Verfahren zur Steuerung eines Kraftstoffinjektors nach einem der Ansprüche 20 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass durch Bestromung beider Magnetsteller (15,16) oder eines Piezostellers beide Ablaufdrosseln (17, 18) geöffnet werden, wobei durch die dadurch erfolgende Entlastung des Steuerraums (19) des Kraftstoffinjektors (1) die Düsenadel geöffnet und infolge der einsetzenden Bewegung des Kolbens (86.1) des Druckverstärkers (86) der Düsenraum (12) des Kraftstoffinjektors (1) mit einem das Druckniveau des Druckspeichers (85) übersteigenden Druck beaufschlagt wird.

20

Zusammenfassung

Die Erfindung bezieht sich auf einen Kraftstoffinjektor an Einspritzanlagen für Verbrennungskraftmaschinen mit einem Ventilkörper (2). Dieser weist einen druckentlastbaren Steuerraum (19) auf, der über eine Zulaufdrossel (32) mit Kraftstoff beaufschlagbar ist und über eine Ablaufdrossel (17) druckentlastbar werden kann. Ein Schließelement (43) ist über ein erstes Stellglied (15) betätigbar. Der Ventilkörper (2) ist mit einem Haltekörper (5) verbunden, an welchem ein ein Einspritzventilglied (11) umgebender Düsenkörper (9) befestigt ist. Zur Druckentlastung des Steuerraums (19) ist eine weitere, zweite Ablaufdrossel (18) vorgesehen, deren Schließelement (49) entweder mittels eines weiteren Stellgliedes (16) oder abhängig von der Bestromung (70, 73, 79) eines doppelschaltenden Stellgliedes (50) betätigbar ist.

(Figur 1)

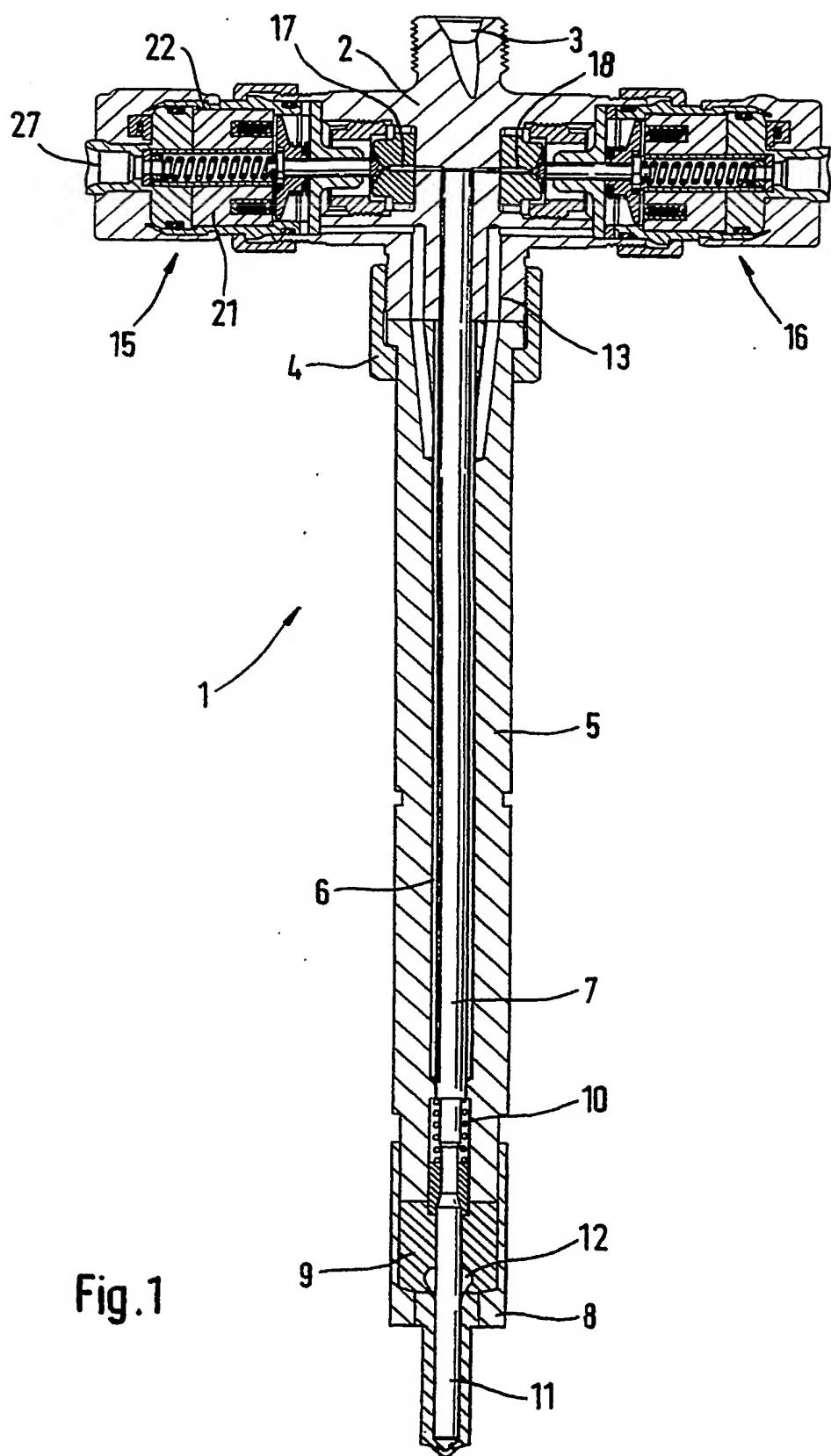


Fig. 1

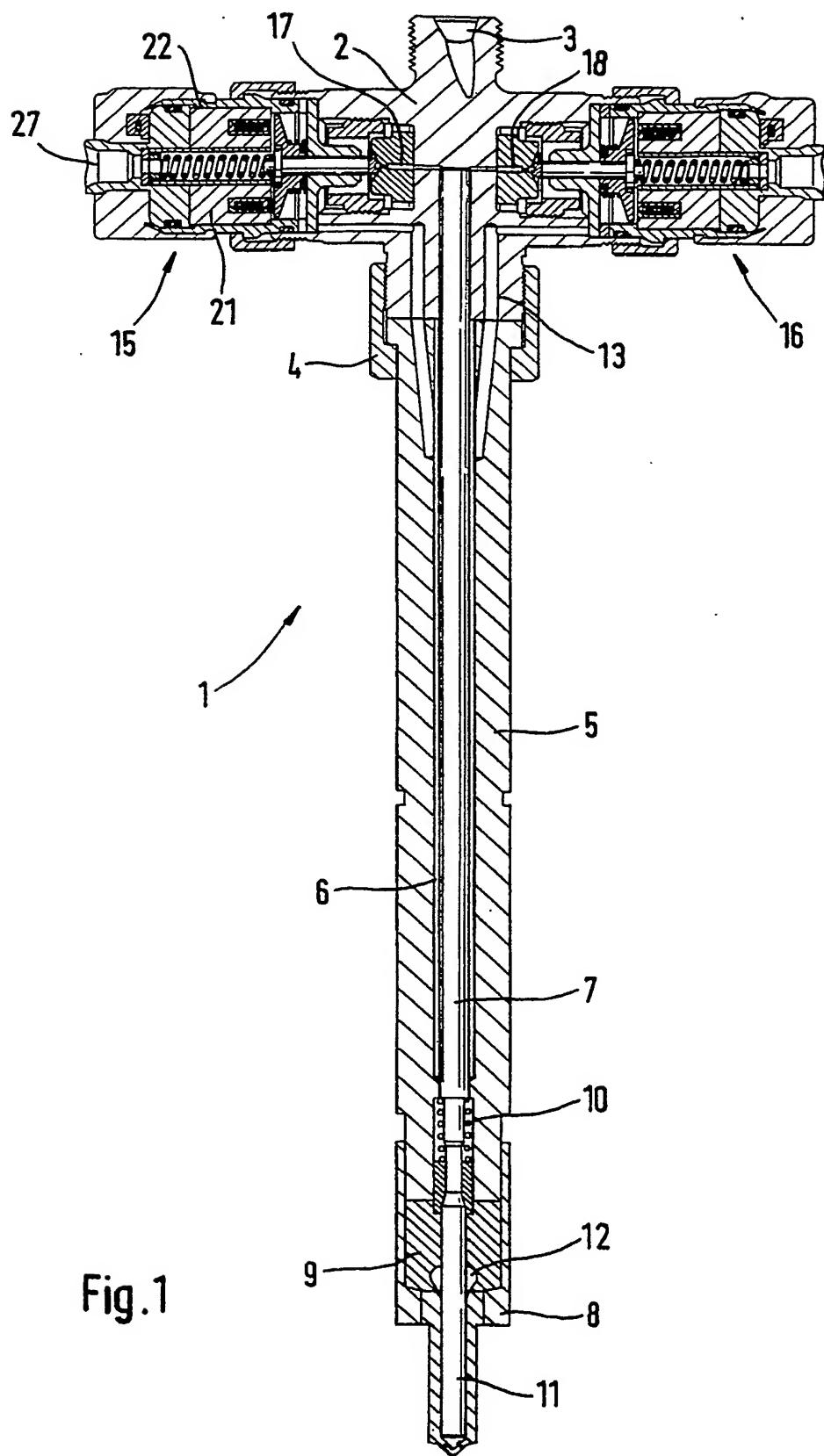


Fig. 1

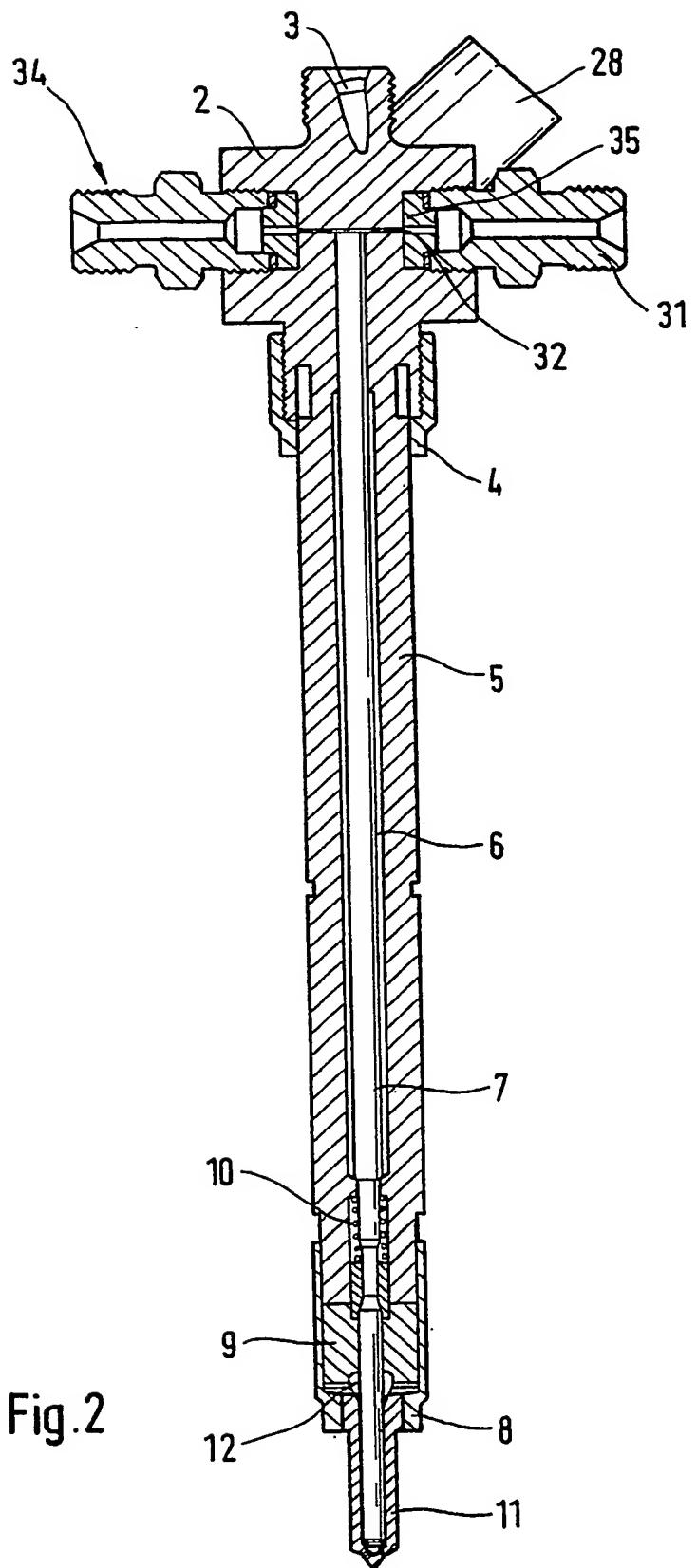


Fig. 2

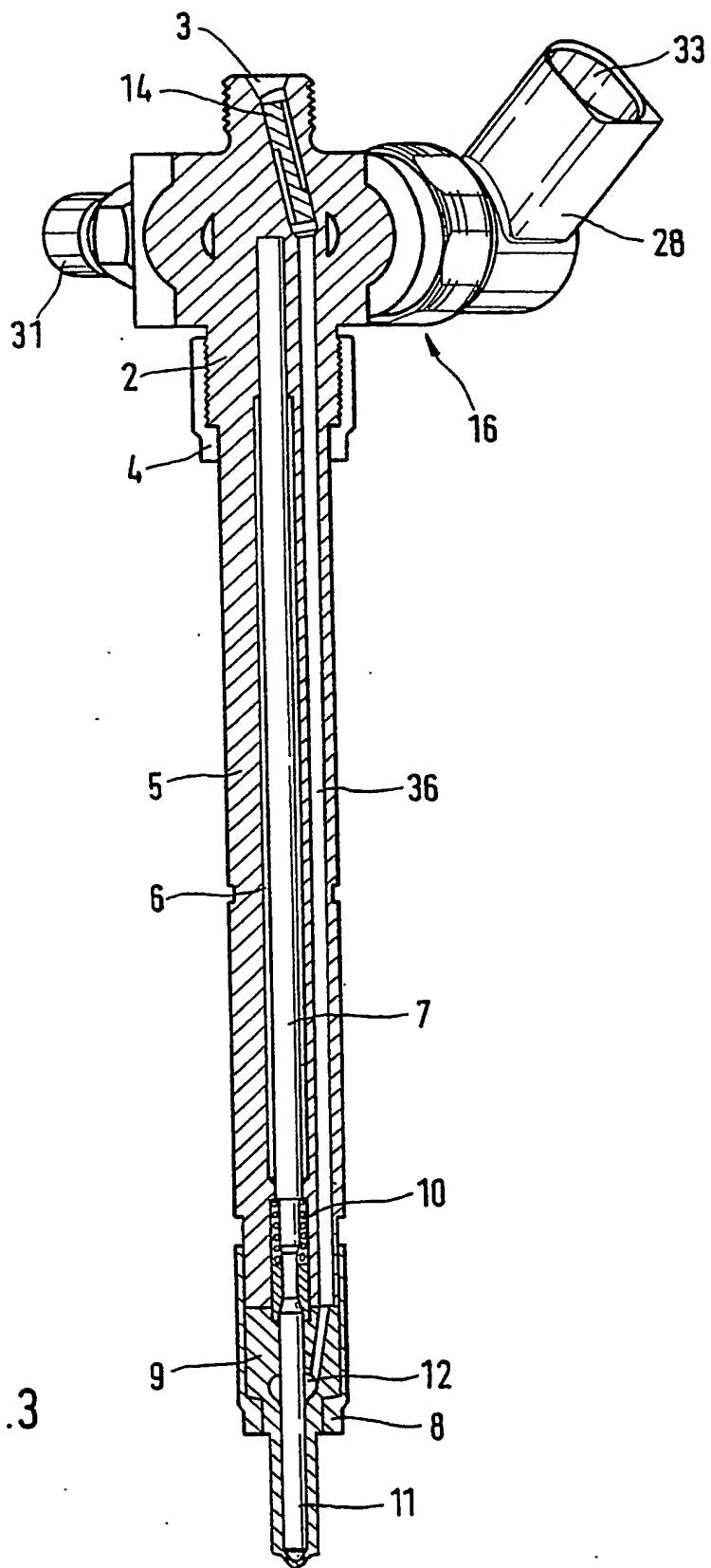


Fig. 3

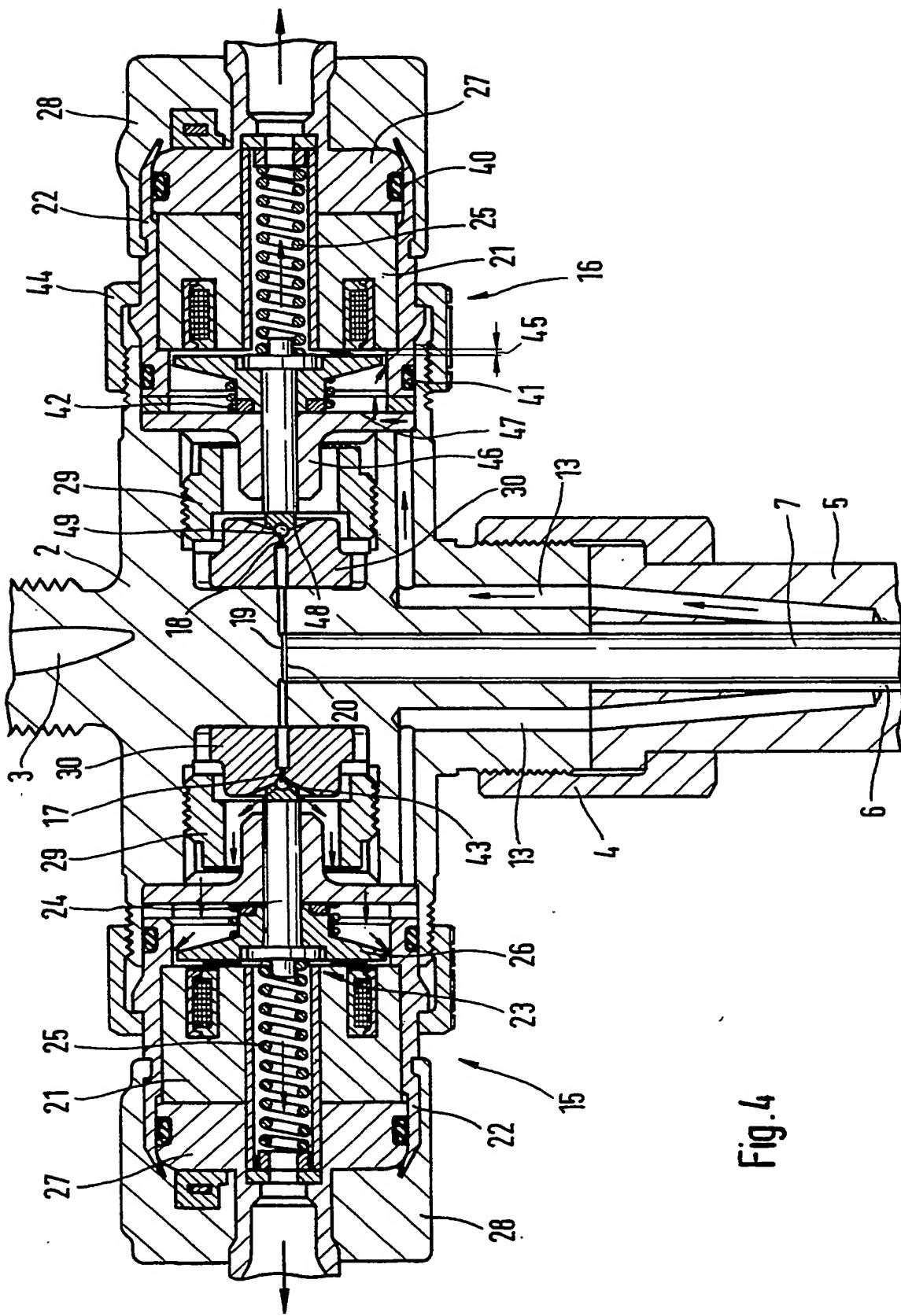
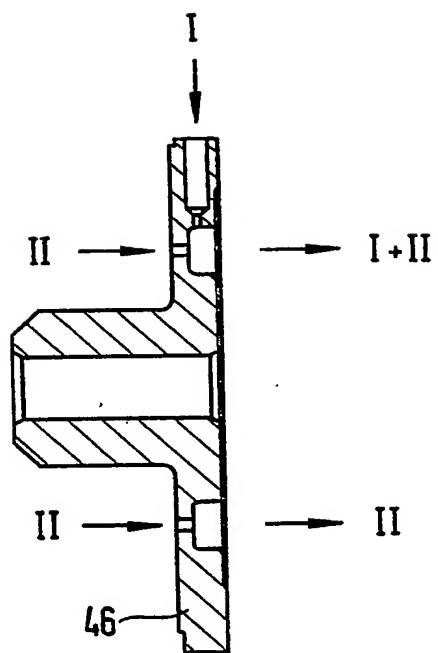


Fig. 4

Fig.4a



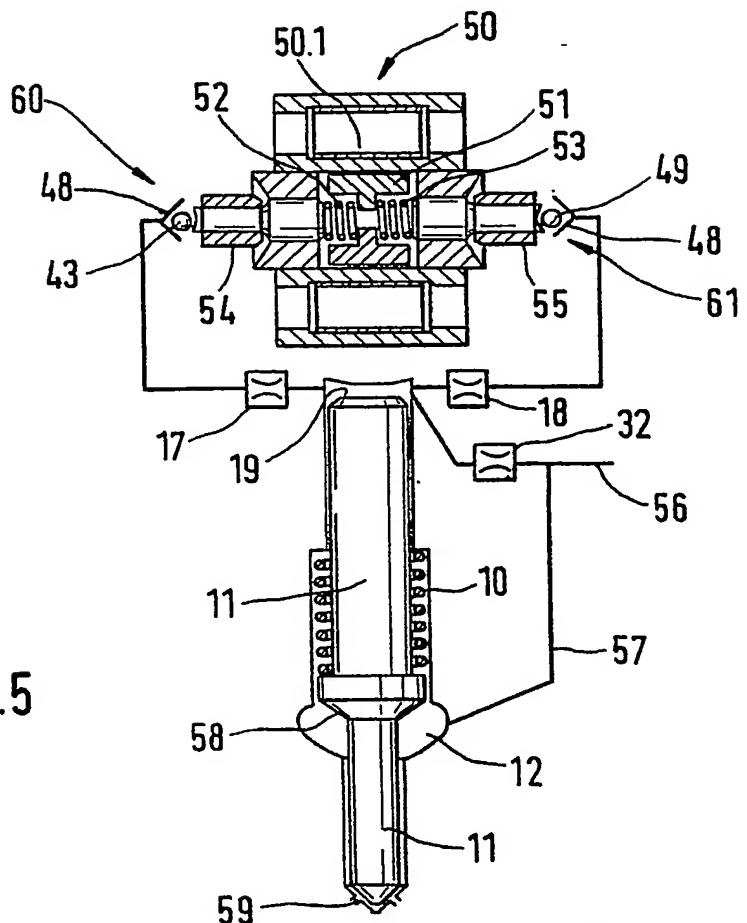
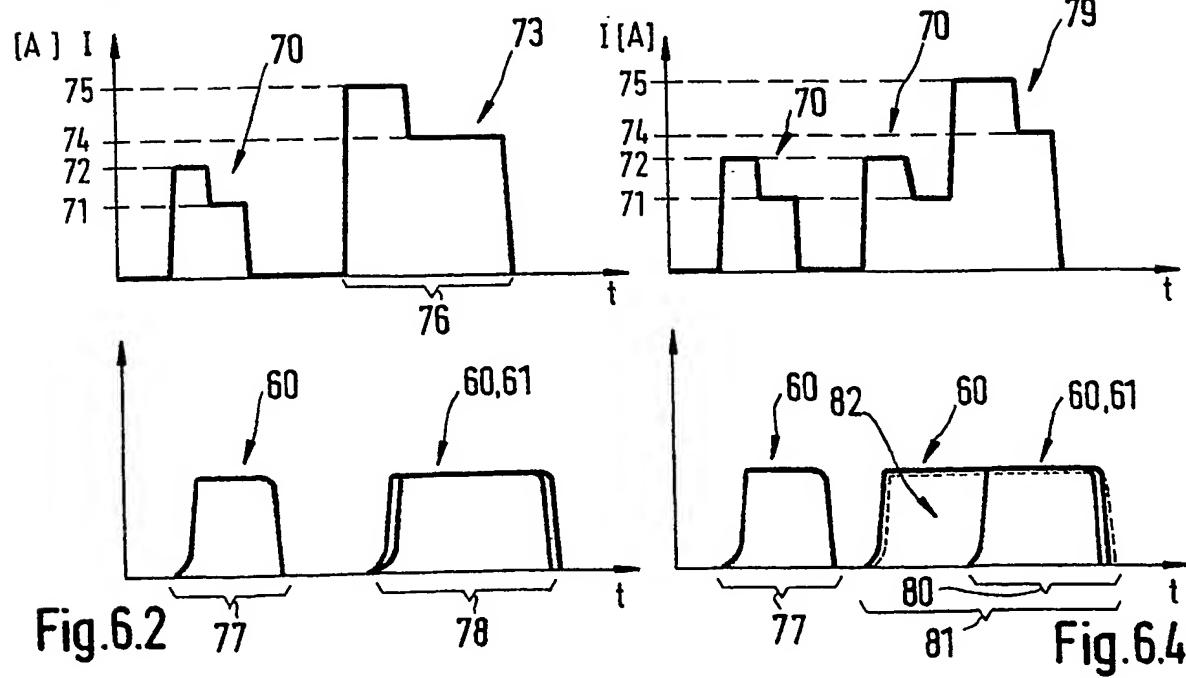


Fig. 5

Fig. 6.1

Fig. 6.3



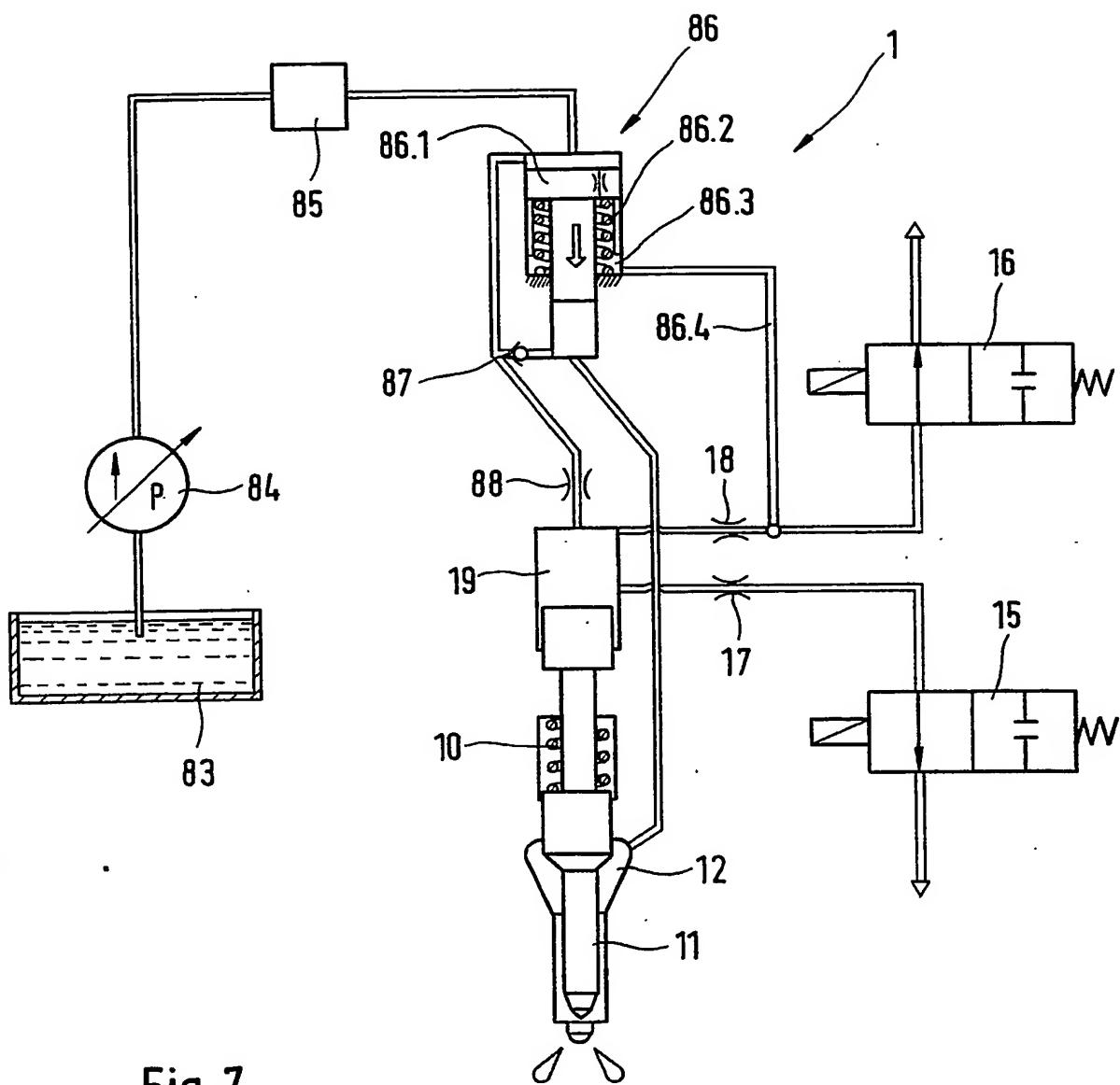


Fig. 7

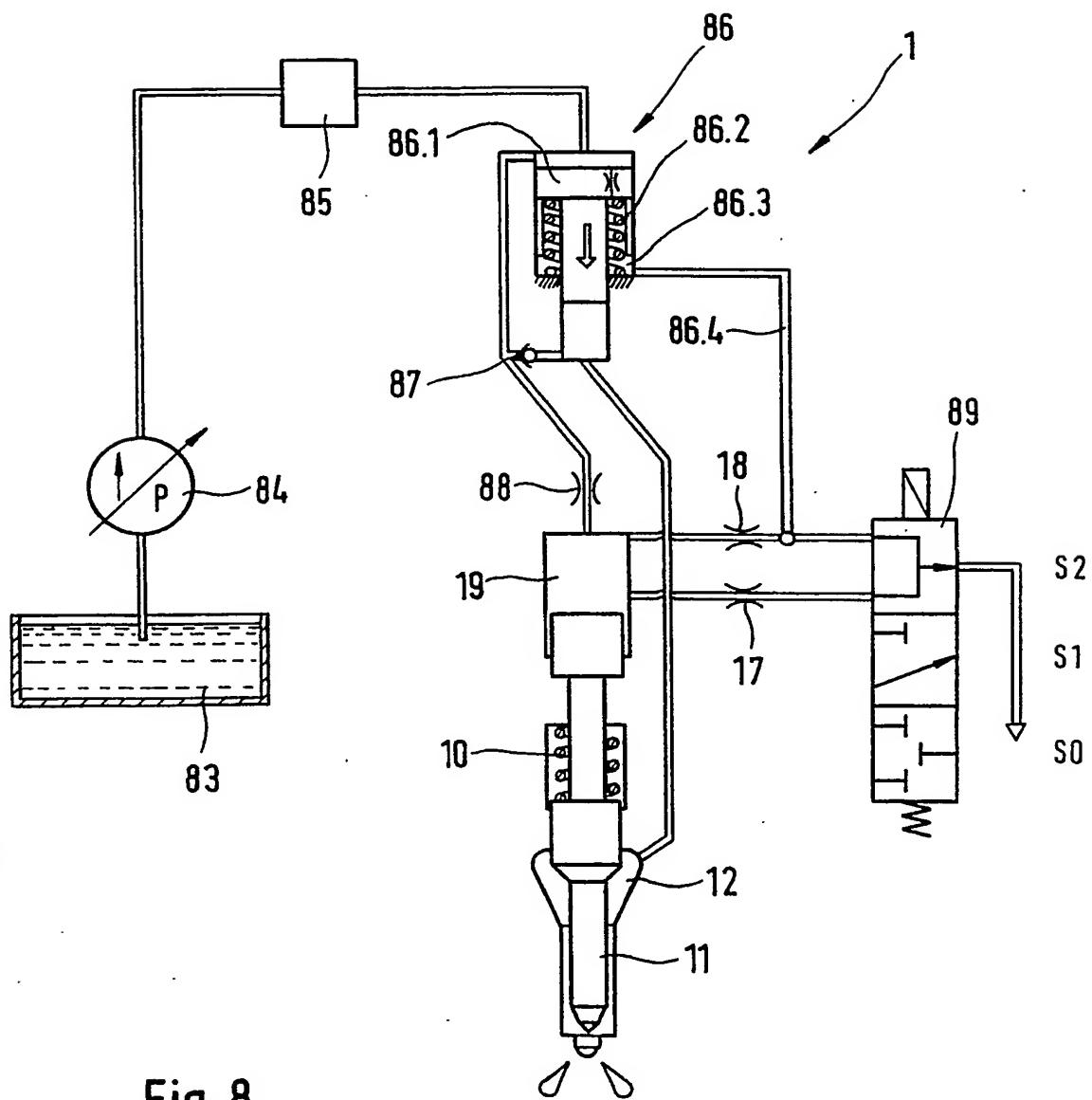


Fig. 8

Fig.9

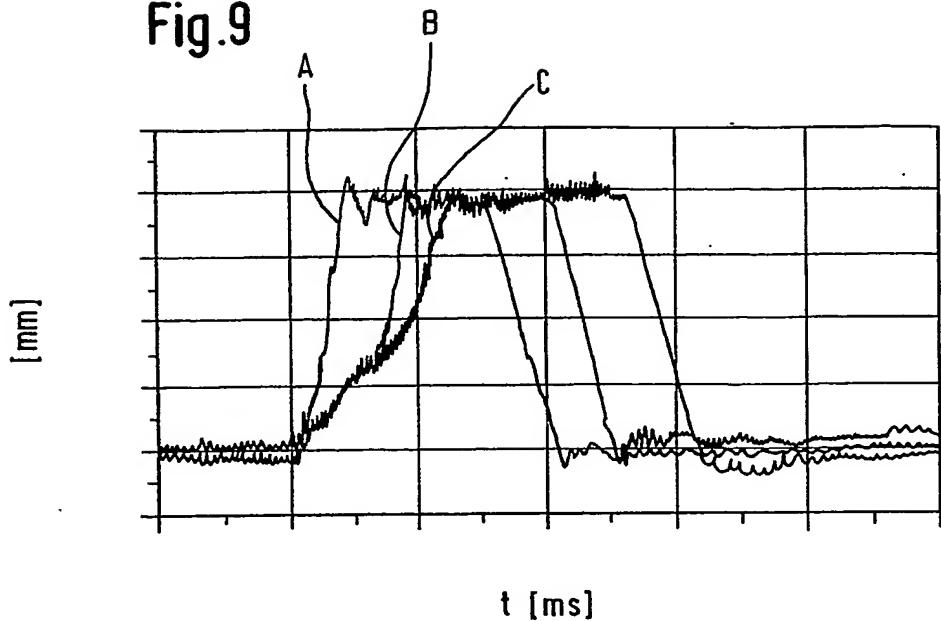


Fig.10

